VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

1 руб.

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
КИРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

АСТРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВО ВНЕКЛАССНОЙ РАБОТЕ УЧИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ

КИРОВ — 1985

52(07)
К-32

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
КИРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

Е. И. КОВЯЗИН

АСТРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВО ВНЕКЛАССНОЙ РАБОТЕ УЧИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ



Учебное пособие

КИРОВ — 1985

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Кировского государственного педагогического института имени В. И. Ленина.

Темплан 1985 г. Поз. 247.

В пособии анализируются возможности использования фотоаппаратов в роли астрографов при проведении астрографических наблюдений в условиях средней школы. Описаны методика работы негидируемыми камерами (фотографирование суточных путей звезд и Солнца, получение снимков звездных полей). В работе предложена конструкция школьного гида и работы по его юстировке. Подробно описаны особенности выбора, обработки и хранения негативов. В конце пособия даются рекомендации по дальнейшему развитию школьной астрофотографии, приведен список рекомендуемых практических работ и библиография по данному вопросу.

Ответственный редактор доктор педагогических наук, профессор **В. В. Мултановский.**

Рецензенты: доктор физико-математических наук **А. А. Гурштейн,** ИКИ АН СССР; кандидат педагогических наук, ст. научный сотрудник НИИ ШОТСО АПН СССР **А. Д. Марленский;** кандидат физико-математических наук МГПИ имени В. И. Ленина **Л. А. Головина.**

© Кировский государственный педагогический институт имени В. И. Ленина (КГПИ имени В. И. Ленина), 1985.

Знакомство с внеклассной работой учителей астрономии средних школ показывает, что практические работы, связанные с наблюдениями объектов звездного неба, в подавляющем числе случаев сводятся к единичным наблюдениям звездного неба невооруженным глазом и (редко) в школьные телескопы. К тому же «программы» таких наблюдений довольно однообразны: несколько созвездий, очень редко телескопические наблюдения Луны, какой-либо планеты и 1—2 объектов звездного неба. Школьный курс астрономии все еще, к сожалению, является слишком «кабинетным» курсом. Во многих школах не выполняются даже требования программ ни по содержанию, ни по количеству наблюдений.

Это происходит несмотря на то, что сам предмет школьного курса и его содержание дают богатейшие, часто неиспользуемые учителями, возможности применения различных форм внеклассной работы, способствующих развитию активного отношения школьника к изучению этого предмета.

Существует целый ряд причин такого «нетворческого» отношения к предмету астрономии. Здесь и «статус» школьного курса астрономии; и недостаточная астрономическая /а часто и методическая/ подготовленность учителей астрономии; и специфика проведения практических работ /ночной характер наблюдений, невозможность планирования состояния неба, отсутствие наблюдательных площадок и т. д./; и непонятное стремление многих методистов и учителей к слишком подробному и сугубо теоретическому изучению экзотических астрофизических материалов в ущерб тем знаниям школьника, которых от него требует практика повседневной жизни и интересы атеистического, а значит и мировоззренческого воспитания; и некоторые другие.

Одной из причин является отсутствие подробных методических разработок для внеклассной работы по астрономии на существующем оборудовании школьного кабинета физики и астрономии. В методической литературе можно встретить публикации, посвященные описанию от-

дельных работ. Однако не предложено ни одного законченного большого цикла практических работ по астрономии в средней школе на существующем оборудовании.

В данном пособии описано такое направление внеклассной работы по астрономии, которое, не требуя специального оборудования, позволяет поставить значительный круг работ практического характера, связанных с наблюдениями.

Пособие явилось результатом не только изучения специальной астрономической, фотографической и методической литературы, но и итогом почти пятилетних экспериментов по возможностям малоформатной астрофотографии в условиях средней школы. Поэтому подавляющее число рекомендаций носят законченный характер и представляются слишком подробными. Это сделано сознательно, ибо результаты работ в сильной степени определяются незначительными /на первый взгляд/ особенностями их проведения.

Отличительной стороной предлагаемых фотографических наблюдений является то, что практически все описываемые работы могут проводиться без участия учителя. Если при проведении телескопических /и даже визуальных/ наблюдений присутствие учителя совершенно необходимо, то большинство фотографий школьники могут получить дома, на вечернем небе, устанавливая фотоаппарат около дома /что особенно удобно делать учащимся сельских школ/. Учитель только должен подробно объяснить методику работы и обсудить потом ее результаты.

Данное пособие предназначено, в первую очередь, для учителей сельских школ, где условия для постановки рекомендуемых работ /меньшая загрязненность атмосферы, более слабое фоновое свечение атмосферы и пр./ гораздо лучше, чем в крупных населенных пунктах.

Автор благодарен доценту А. Д. Марленскому и доценту Л. А. Головиной, прочитавшим рукопись и сделавшим ценные замечания по ее содержанию.

§ 1. МАЛОФОРМАТНЫЕ ФОТОАППАРАТЫ В РОЛИ АСТРОГРАФОВ

Любой фотоаппарат можно рассматривать как астрограф[1], характеристики которого определяются диаметром его

[1] Здесь и в дальнейшем мы будем сознательно использовать такую аналогию, оставляя в стороне вопрос о монтировке.

объектива — D — и величиной фокусного расстояния объектива — F. Малоформатные фотоаппараты, используемые в роли астрографов, имеют ряд отличий от инструментов, используемых на астрономических обсерваториях.

Прежде всего необходимо отметить, что в любительской фотографии обычно используются очень светосильные /с точки зрения астронома/ объективы. Характеристикой светосилы служит относительное отверстие — A, измеряемое отношением диаметра объектива к его фокусному расстоянию:

$$A = \frac{D}{F}$$

Обычно светосила объектива считается равной относительному отверстию /хотя в общем случае это не совсем так/ и задается в виде дроби. Например: 1:2; 1:3; 1:4,5 и т. д. Первый из таких объективов является наиболее светосильным, последний — наименее светосильным.

В астрономии, как правило, используются астрографы, относительные отверстия которых лежат в пределах от 1:6 до 1:15. Объективы, относительные отверстия которых больше 1:5, считаются светосильными.

Величина, обратная относительному отверстию, называется относительным фокусным расстоянием и обозначается

$$A = \frac{1}{A} = \frac{F}{D}$$

Цифры, проставленные на шкале диафрагм объектива любительской фотокамеры, фактически, дают нам значения относительных фокусных расстояний определенным образом задиафрагмированного объектива.

Значение относительных отверстий объективов любительских фотокамер обычно лежат в пределах от 1:2 до 1:4,5. Использование таких светосильных объективов позволяет получать изображения слабо светящихся объектов за достаточно короткие экспозиции.

Учащиеся с удивлением узнают о том, что при фотографировании протяженных объектов объектив фотоаппарата «Смена» /D=10 мм, F=40 мм, A=1:4/ уступает самому крупному телескопу мира шестиметровому гиганту Специальной Астрофизической Обсерватории АН СССР /D=6050 мм, F=24000мм, A ~ 1:4/ только в разрешающей способности и масштабах полученных изображений. Други-

ми словами, за одно и то же время экспозиции эти два «астрографа» на одинаковой пленке дадут изображение одинаково слабых протяженных объектов.

Данное утверждение не будет справедливым для случая фотографирования точечных источников — звезд. В этом случае оптическая мощь инструмента пропорциональна не его светосиле, а квадрату диаметра объектива.

Учащиеся часто полагают, что с помощью любого объектива мы сможем сфотографировать сколь угодно слабые[1] звезды, если экспозиция будет достаточно продолжительной. Это ошибочное мнение. Дело в том, что существует очень сильное фоновое свечение небосвода даже в самые темные, безлунные ночи за пределами населенных пунктов. Оно объясняется рассеянием света звезд, земных источников света и пр. в атмосфере Земли. Суммарная яркость такого свечения достаточно велика: каждый квадратный градус ночного неба «светит» как звезда 4—5 зв. величины. Это общее свечение небосвода способно засветить пленку, если затвор фотоаппарата будет открыт достаточно долго. Понятно, что чем светосильнее объектив, тем быстрее это произойдет. Поэтому для любого объектива вводится предельная экспозиция — $T_{пр}$ и предельная звездная величина — $m_{пр}$.

Предельной экспозицией называется такая, за время которой вуалирование фотопленки фоном небосвода становится уже заметным, но не настолько плотным, чтобы забить изображения самых слабых звезд. Продолжительность предельной экспозиции может быть рассчитана по следующему соотношению:

$$\lg T_{пр} = 0{,}6 - 2{,}35 \lg A \qquad (1).$$

В таблице 1 представлены рассчитанные значения предельных экспозиций при фотографировании на пленки средней чувствительности /«Фото-65», «Фото-90»/, в самые темные безлунные ночи, за пределами населенных пунктов.

Таблица I

Относительное отверстие	1:1.5	1:2	1:2.8	1:3,5	1:4,5
$T_{пр}$ (мин)	10	20	45	75	135

[1] Здесь и далее более слабыми звездами мы будем называть звезды больших звездных величин.

Следует отметить, что в действительности мы практически никогда не будем фотографировать небо с такими длительными экспозициями. В условиях населенных пунктов или при наличии самой слабой дымки в атмосфере эти цифры следует значительно уменьшить. Длительность допустимой экспозиции $T_{эксп}$ будет гораздо меньше $T_{пр}$. Можно считать, что

$$T_{эксп} = к\ T_{пр} \qquad (2)$$

где к — некоторый коэффициент, меньший единицы, величина которого зависит от интенсивности фонового свечения небосвода, типа фотопленки и режима ее обработки.

Например, в условиях г. Кирова в темные безлунные ночи при работе с объективом «Юпитер-8», относительное отверстие которого 1:2, на пленки высокой чувствительности («Фото-250») при экспозициях уже в 5 минут наблюдалось значительное вуалирование негатива, т. е. для таких условий к = 0,25.

Попутно отметим, что учащиеся /а иногда и учителя/ считают, что самые темные ночи у нас бывают зимой, когда Солнце ниже всего опускается под горизонт. Это не так. Дело в том, что зимой за счет отражения света от светлого снежного покрова Земли очень значительно общее фоновое свечение небосвода. Астрономы знают, что на умеренных широтах самые темные ночи приходятся на август—сентябрь и март—апрель. В это время Солнце достаточно глубоко опускается под горизонт, а снега на поверхности Земли еще /или уже/ нет. Поэтому фоновое свечение небосвода минимально.

Под предельной звездной величиной — $m_{пр}$ понимают звездную величину самых слабых звезд, которые могут быть сфотографированы с помощью данного объектива. Предельная звездная величина объектива может быть рассчитана по следующему соотношению:

$$m_{пр} = -1 + 5 \lg D + 2{,}15 \lg T_{пр} \qquad (3)$$

где: D — диаметр объектива в мм;

$T_{пр}$ — длительность предельной экспозиции в мин.

Для широко распространенных объективов рассчитанные значения $m_{пр}$ приведены в таблице 2.

Следует отметить, что данная таблица и приведенное соотношение дают лишь ориентировочные результаты для средних условий фотографирования. Дело в том, что на оконча-

Таблица 2

A \ D мм	10	25	50
1 : 2	6,8	8,8	10,3
1 : 3,5	8,0	10,0	11,5
1 : 4,5	8,6	10,6	12,0

тельный результат оказывают влияние многие факторы, и в первую очередь качество изготовления объектива. Можно привести такой пример. Работая с хорошим объективом «Юпитер-8» /А=1:2, D=25 мм/, нам в самые темные ночи в условиях населенного пункта удавалось на серийных фотопленках высокой чувствительности за минутные экспозиции получать изображения звезд до 10 /!/ звездной величины. К сожалению, недостаточно высокое качество печати не позволяет приводить фотографии звездных полей на страницах данного пособия.

Интересно обратить внимание школьников на тот факт, что для получения изображения самых слабых звезд нужен не самый светосильный из числа имеющихся объективов, а объектив с большим фокусным расстоянием. Из нескольких объективов с одинаковыми диаметрами более слабые звезды мы сможем сфотографировать тем, у которого больше фокусное расстояние /см. табл. 2/. Это объясняется тем, что у такого объектива изображение единичной площадки небосвода будет строиться на большем участке фотопленки: фон неба будет «размазываться» на большую площадь негатива. Поэтому с помощью такого объектива можно получать изображения более слабых звезд, «расплачиваясь» за это более длительными экспозициями.

Для светосильных объективов слишком малы $T_{пр}$, и фон небосвода быстро забивает изображения самых слабых звезд, которые конечно бы получились при отсутствии общего свечения небосвода.

Другой важной для нас особенностью малоформатных камер являются большие поля зрения получаемых снимков. Например, объектив «Гелиос-44», имеющий фокусное расстояние 58 мм, «работая» на формат 24x36 мм, дает изображение участка небесной сферы примерно 22x32≈700 кв. градусов.

На одном таком негативе можно получить изображения большого числа звезд и даже целые созвездия — что особенно ценно в условиях средней школы.

В таблице 3 приведены поля зрения объективов с наиболее распространенными фокусными расстояниями, работающих на формат 24x36 мм.

Таблица 3

F мм	28	40	50	58
Поле зрения	42° x 52°≈ ≈2000 кв. гр.	30° x 40°= =1200 кв. гр.	25° x 35°≈ ≈900 кв. гр.	22° x 32°≈ ≈700 кв. гр.

В общем случае поле зрения малоформатного астрографа можно рассчитать из простейших соображений:

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg} \frac{a}{F}$$

а — один из размеров кадра;
F — фокусное расстояние объектива.

Следует отметить, что поскольку объективы любительских фотокамер обладают значительными аберрациями, мы не всегда сможем получать хорошие изображения звезд по всему полю зрения. Например, для объектива «Гелиос-44» область хороших изображений звезд — это центральная зона, диаметром около 15 градусов, площадь которой около 300 кв. градусов — всего лишь 30% всего поля зрения объектива.

Среди фотолюбителей часто употребляются термины «жестко-рисующий» и «мягко-рисующий» или «портретный» объектив. Учащимся полезно знать, что «мягко-рисующий» объектив с точки зрения оптика — это объектив с плохо исправленными аберрациями. Астрономы всегда имеют дело с такими объективами, аберрации которых сведены к минимуму. «Мягко-рисующие» объективы по краю поля зрения будут давать некачественные изображения звезд, испорченные, главным образом, комой. Именно таким объективом является объектив «Гелиос-44».

Пожалуй, наиболее подходящим для целей малоформатной астрофотографии из широко распространенных объективов является «Юпитер-8» /F=50 мм, А=1:2/, который по всему полю дает удовлетворительные по качеству изображе-

ния звезд. Можно отметить также серию объективов «Индустар».

Вообще говоря, подавляющее большинство работ, о которых пойдет речь далее, могут быть выполнены любым фотоаппаратом с любым объективом и даже без последнего /хорошие снимки суточных движений Солнца можно получить, используя камеру-обскуру, роль объектива в которой играет отверстие малого диаметра/.

Из нескольких одинаковых объективов всегда можно выбрать такой, который дает наиболее качественные изображения звезд /что может быть темой небольшого экспериментального исследования школьника/. Следует помнить, что при оценке качеств изображений звезд при их рассматривании совершенно необходимо пользоваться сильной лупой. Только так можно заметить мельчайшие различия в качестве изображений звезд, совершенно недоступные невооруженному глазу.

Еще одной особенностью малоформатных камер, используемых в качестве астрографов, является малость фокусных расстояний их объективов. Как правило, они лежат в пределах от 28 мм до 58 мм. /Для сравнения, наиболее широко распространенные в астрономии нормальный и зонный астрографы имеют фокусные расстояния 344 и 206 сантиметров соответственно/.

Это обстоятельство, во-первых, позволяет значительно увеличить экспозиции для получения точечных изображений звезд при фотографировании неподвижной камерой /см. подробнее ниже/. Во-вторых, это снижает требования к точности гидирования при фотографировании звезд гидируемыми малоформатными камерами (см. об этом стр. 34 и далее).

Опыт показывает, что использование малоформатных фотоаппаратов в роли астрографов не только позволяет познакомить школьника с основами астрофотографии, но и может оказаться полезной и благодатной областью применения интересов школьников к практическим занятиям по астрономии.

§ 2. НЕГИДИРУЕМЫЕ ФОТОАППАРАТЫ

а) Фотографирование суточных путей звезд

Наиболее простым случаем использования малоформатных камер в астрофотографии является их применение для получения фотографий видимых суточных движений светил в различных районах небосвода.

Закономерности видимых движений изучаются в самом начале школьного курса астрономии. Их знание совершенно необходимо не только для глубокого понимания вопросов, связанных с небесной сферой и небесными координатами, но и для формирования материалистического мировоззрения школьников.

Большинство учителей, опираясь на рекомендации существующих методик и материал учебника, при изложении этого вопроса используют рисунки, модель небесной сферы, подвижную карту звездного неба /?/ и опыт учащихся по наблюдению за суточным движением Солнца. Иногда используются фотографии околополярной области, аналогичные той, которая помещена на рис. 9 действующего школьного учебника по астрономии[1].

Здесь отметим, что с методической точки зрения этот снимок является неудачной иллюстрацией излагаемого вопроса. Можно предположить, что это фотография суточных движений звезд вблизи Северного Полюса Мира, полученная с помощью астрографа со значительным фокусным расстоянием. Яркий след, очевидно, оставлен Полярной звездой. Тогда легко сообразить, что общая площадь этой фотографии всего лишь несколько /~4/ квадратных градусов.

Рядом с этой фотографией расположен рисунок 10 — карта тоже северной части небосвода. Масштаб фотографии настолько не соответствует масштабу рисунка, что никакое отождествление или просто сравнивание /что пытаются сделать учащиеся/ совершенно невозможно.

Более того, под фотографией в тексте написано: «...Все же другие звезды описывают в течение суток полный круг с центром вблизи Полярной звезды». Фотография же выполнена и приведена в таком масштабе, что Полярная звезда лежит не в центре снимка, а на его периферии /!/. Такое иллюстрирование не может быть признано удовлетворительным.

Снимок, приведенный в учебнике, не является исключением. Как правило, фотографии, которые могут оказаться в распоряжении учителя астрономии, получены либо с помощью астрографов, либо астрокамер со значительными фокусными расстояниями. Поэтому на них представлены суточные пути звезд на небольших полях зрения /в лучшем слу-

[1] Воронцов-Вельяминов Б. А. Астрономия. Учебник для 10 класса средней школы. Издание 13. М., Просвещение, 1981.

чае десятки квадратных градусов. Для сравнения — поле зрения человеческого глаза больше 10000 кв. градусов/. Поэтому такие снимки, которые к тому же часто не «привязаны» к реальному пейзажу на горизонте, в своем восприятии аналогичны просто схематическим рисункам, которые легко выполнить с помощью циркуля.

Более желательными были бы фотографии больших полей небосвода, с пейзажем на линии горизонта, на которых ученик мог бы в манере адекватной пространственному наблюдению под открытым небом увидеть изменения в положении знакомых ему светил или целых созвездий относительно горизонта.

Легко догадаться, что именно малоформатные камеры могут позволить получить такие снимки суточных движений звезд. Для этого используют негидируемые, т. е. жестко установленные, неподвижные фотоаппараты.

В школьном учебнике астрономии сказано: «Фотоаппарат, установленный на «бесконечность», направим на Полярную звезду и надежно укрепим в этом положении.

Откроем затвор при полностью открытом объективе на полчаса или час. Проявив сфотографированный таким образом снимок, увидим на нем концентрические круги — следы путей звезд».

Однако, если иметь в виду стандартную малоформатную камеру со светосильным объективом, результат будет совсем другим — абсолютно засвеченный негатив. Дело в том, что для большинства объективов малоформатных камер, особенно в условиях населенного пункта, предельные экспозиции очень невелики.

Для получения удовлетворительных по качеству негативов такое фотографирование следует осуществлять при значительных значениях диафрагм, всегда при «хорошем» небе. Можно считать, что небо достаточно «хорошее», если Млечный Путь виден невооруженным глазом. Например, мы работаем с объективом «Юпитер-8», относительное отверстие которого 1:2. При полностью открытом /незадиафрагмированном/ объективе при самом темном небе длительность предельной экспозиции 20 мин. /см. табл. 1/. В действительности она еще меньше /порядка 10 мин./. Если мы собираемся получить суточные треки звезд, например, за 3 часа, то данный объектив необходимо задиафрагмировать до значения А, определяемого из соотношения 1:

$$\lg T_{пр} = 0{,}6 - 2{,}35 \lg A, \text{ где } T_{пр} = 180 \text{ мин.}$$

откуда А=1:5, т. е. до значения диафрагмы примерно 5,6. А если съемки проводятся в населенном пункте, и небо далеко не самое темное, то диафрагмирование должно быть более сильным. Понятно, что в этом случае уменьшится проницающая способность объектива, и мы не сможем получить суточные пути слабых звезд.

Кроме того, результаты фотографирования суточных движений звезд существенно зависят от района небосвода, в котором производилось фотографирование. Дело в том, что скорость видимых суточных движений звезд, имеющих разные склонения, различна. Быстрее всего перемещаются звезды с нулевым склонением /лежащие на небесном экваторе/. Гипотетическая звезда, лежащая точно в полюсе мира, будет относительно наблюдателя неподвижна. Напомним, что Полярная звезда отстоит от северного полюса почти на один градус. Это очень много — это два видимых угловых диаметра Луны.

Поэтому при фотографировании суточных движений мы сможем получить изображения следов более слабых звезд в околополярной области. Их изображения на фотопленке будут перемещаться медленно, и они сумеют «засветить» пленку. Изображения таких же по яркости звезд, фотографируемых в районе небесного экватора, будут перемещаться по пленке гораздо быстрее, и поэтому они на фотографии не получатся.

Можно показать, что если T_0 и T_δ — промежутки времени, за которые изображения звезд со склонениями 0° и δ° переместятся на величину диаметров своих изображений, то

$$T = \frac{T_\delta}{\cos\delta} \qquad (5)$$

Величина T_0 зависит от фокусного расстояния используемого объектива и качества изготовления его оптики[1]. Поскольку поля зрения любительских фотоаппаратов велики, то на одном кадре будут присутствовать звезды, склонения которых отличаются на десятки градусов. Значит, на одном снимке в разных его частях удастся получить изображения суточных путей различных по блеску звезд /пути слабых звезд в околополярной области, и только достаточно ярких звезд в экваториальной области/.

При использовании объективов любительских фотоаппа-

[1] Более подробно об этом сказано на стр. 30 данного пособия.

ратов эти различия будут гораздо больше, так как почти все эти объективы на краях поля строят изображения звезд, во-первых, испорченные аберрациями. Изображение звезды «размазано» на большую площадку негатива и поэтому ее зарегистрировать не удается. Фотолюбители хорошо знают, что разрешающая способность[1] почти всех любительских фотообъективов для периферийной зоны в 1,5—2 раза меньше, чем для центральной.

Во-вторых, для краевых зон большинства любительских объективов относительное отверстие /фактически светосила объектива/ уменьшается в 1,5—2 раза. Это объясняется экранированием света наклонных пучков элементами оправы объектива.

В-третьих, значительный вклад в ослабление изображений может внести атмосфера Земли /если фотографируются суточные пути звезд вблизи горизонта/.

Так, снимая суточные пути звезд в районе Северного Полюса Мира фотоаппаратом «Любитель» /F=75 мм, A=1:4, поле зрения около 40° x 40°/, мы получали вблизи Полюса Мира треки звезд до 10-й звездной величины, на периферии кадра — только до 5-й звездной величины.

Прежде чем приступить к фотографированию суточных движений звезд, необходимо определить длительность допустимой экспозиции — $T_{эксп}$ — в районе проведения наблюдений, с тем, чтобы плотность вуали на негативе была незначительной. Как мы показывали ранее, в действительности она почти всегда будет меньше $T_{пр}$. Для этого необходимо сделать несколько снимков звездного неба с экспозициями, например, $^1/_8\, T_{пр}$, $^1/_4\, T_{пр}$, $^1/_2\, T_{пр}$, $^3/_4\, T_{пр}$, $T_{пр}$. при полностью открытом объективе. После проявления пленки выберем тот из снимков, на котором вуаль еще не забивает изображения суточных путей звезд. По известной длительности экспозиции этого снимка определяем значение коэффициента К. Например, для условий г. Кирова /см. стр. 7/ подобный эксперимент дает К=0,25. Найденное значение К будем в дальнейшем использовать при определении относительного фокусного расстояния диафрагмированного объектива при фотографировании суточных путей звезд с д р у г и м и, более длительными экспозициями.

[1] В фотографии разрешающую способность принято измерять не в секундах дуги (как это делают в астрономии), а числом линий на миллиметр, которые удается увидеть на негативе при фотографировании специальных мир. Если α — разрешающая способность объектива в угловых единицах, n — разрешающая способность в линиях на миллиметр, а F — фокусное расстояние объектива, то справедливо: $\alpha' = 3{,}5 \cdot n^{-1} \cdot F \cdot 10$

Для большинства любительских объективов для центральных зон разрешающая способность 1,5—2 минуты дуги, или 30—40 линий на миллиметр.

Например, мы решили сфотографировать суточные пути звезд в течение одного часа. На основании вышесказанного можно записать:

$$\lg T_{пр} = \lg \frac{T_{экс}}{K} = 0{,}6 - 2{,}35 \lg A$$

В данном случае К=0,25, $T_{эксп}$ = 60 мин. Отсюда без труда находим A=1:5,6, т.е. в условиях данного населенного пункта часовые пути звезд нужно будет снимать при значении диафрагмы 5,6. При некотором опыте можно по виду небосвода /по звездной величине самых слабых, видимых невооруженным глазом звезд/ определять примерное значение вводимого в расчеты коэффициента «К». Можно запомнить также, что при таком состоянии неба, когда Млечный Путь виден невооруженным глазом, т. е. фоновое свечение минимально, можно принимать К=1.

Методика получения фотографий суточных путей звезд достаточно проста. Фотоаппарат направляют на избранный район небосвода и жестко закрепляют. В зависимости от планируемой продолжительности экспозиции и состояния небосвода устанавливают необходимое /рассчитанное или определенное экспериментально/ значение диафрагмы. Объектив фотоаппарата закрывают колпачком. Затвор фотоаппарата открывают и оставляют в открытом состоянии. У разных фотоаппаратов это можно сделать различным способом. Например, у многих моделей малоформатных камер /ФЭД, Зоркий, Зенит и др./ для этого достаточно нажать кнопку спуска и в нажатом состоянии повернуть ее против часовой стрелки. Если конструкция затвора фотоаппарата не позволяет сделать этого, можно воспользоваться тросиком, оставляя его в нажатом состоянии с помощью любого простейшего приспособления /например, кусочка пластилина/.

После открытия затвора медленно и осторожно снимают с объектива колпачок и несколько секунд держат его перед объективом на небольшом расстоянии. За это время затухнут все колебания в системе крепления фотоаппарата, вызванные спуском затвора и снятием колпачка. Только после этого колпачок отводят в сторону, и фотографирование начинается.

Хотя из опыта повседневной жизни учащиеся на примере Солнца хорошо знают, в каком направлении происходит суточное вращение небосвода, картины суточных движений звезд /особенно в северной части небосвода/ далеко не все учащиеся представляют правильно. Поэтому, для выявления направления суточных движений звезд по виду снимка, во время экспонирования полезно дважды закрывать /осторожно!/ объектив фотоаппарата колпачком, разделив все время экспозиции на три неравные части. Например, можно рекомендовать закрывать объектив на 4 мин. Первый раз после 16-минутной экспозиции, второй раз — после 24-минутной экспозиции. Продолжительность третьего экспонирования 32 мин. На таком снимке след каждой звезды будет представлен тремя дугами в 4°, 6° и 8°, разделенными небольшими /1°/ интервалами. По такому снимку легко представить не только характер, но и направления суточных движений звезд.

Из-за незначительной проницающей способности сильно диафрагмированных объективов фотографирование избранного района небосвода лучше всего производить тогда, когда в данном районе находится большое число ярких звезд. Например, фотография суточных путей звезд в северной части небосвода будет наиболее эффектной, если на снимке будут присутствовать звезды Большой Медведицы[1] /см. фото 1/. В осенние месяцы созвездие Большой Медведицы находится в нижней кульминации вблизи полуночи.

В то же время в восточной части небосвода можно сфотографировать суточные пути восходящих звезд «зимнего» неба /созвездия Близнецов, Ориона, Тельца, Возничего и т. д./.

Учащиеся смогут сами с помощью подвижной карты звездного неба определить время и дату, в которые наиболее яркие звезды будут находиться в интересующей части небосвода.

Такие фотографии будут особенно эффектными, если одновременно с суточными путями звезд на снимке будет представлен характерный пейзаж данной местности на линии горизонта. Если на горизонте нет никаких источников света

---

[1] На подлинном негативе и отпечатках с него видны следы звезд до 10 зв. величины. К сожалению, невысокое качество печати не позволяет привести в пособии почти все фотографии суточных путей звезд, и, особенно, звездных полей.

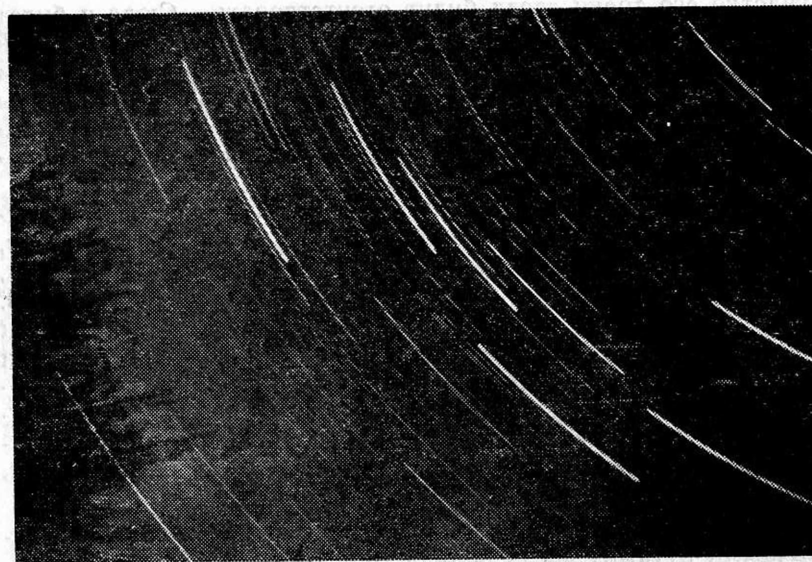


Фото 1. Суточные пути звезд в северо-западной части небосвода. Фотоаппарат «Любитель» F=75 мм, A=1:4,5.

/фонари, лампочки, окна домов и т. д./, то линия горизонта может быть сразу захвачена в кадр видоискателя при фотографировании суточных путей звезд. Опыт показывает, что при некоторых условиях за длительные экспозиции пейзаж на линии горизонта получается на фотографии. Однако получить такой снимок все же значительно труднее, чем просто суточные пути звезд. В крайнем случае можно рекомендовать попытаться получить окончательный отпечаток с двух совмещенных негативов. На одном из них — суточные пути звезд в данном районе небосвода, на другом — фотография пейзажа с линией горизонта. Следует помнить только, что такой снимок пейзажа нужно получать не днем, а при достаточно темном небе, с тем, чтобы на этом негативе «небо» было «прозрачными» и не забивало бы при совместной печати суточные пути звезд.

Можно рекомендовать в этом случае при фотографировании суточных движений звезд закрывать часть кадрового окна фотоаппарата /$^1/_5$—$^1/_6$ по высоте/ кусочком тонкой черной бумаги. Тогда после проявления негатива на закрытом

2 Заказ 4188.


БИБЛИОТЕКА № 3031-394 ВАГО

участке его треки звезд будут отсутствовать. Сюда и будет при совместной печати с двух негативов впечатан привычный для школьника пейзаж данного места /например, с видом школы/. Такой пейзаж нужно фотографировать так, чтобы он занимал в кадре видоискателя нижнюю часть поля, примерно равную той, которая закрывалась при фотографировании суточных движений звезд.

Полезно также знать, что из-за значительной непрозрачности атмосферы Земли наблюдается сильное /в 10—15 раз, т. е. на 2—3 звездных величины/ ослабление блеска светил, наблюдаемых на зенитных расстояниях больше 80 градусов. Поэтому на таких фотографиях, как правило, суточные пути звезд вблизи горизонта получаются сильно ослабленными или исчезают вовсе. Только при очень благоприятном состоянии атмосферы удается получить суточные треки заходящих или восходящих слабых звезд. Поэтому вышепредложенное «маскирование» кадра не обязательно. Иногда роль такой маски играет атмосфера.

Конечно, снимки с ослабленными или исчезнувшими «суточными путями» звезд вблизи горизонта нельзя считать неудачными. Они не только хорошо иллюстрируют характер суточных движений звезд /за счет суточных путей звезд на больших зенитных расстояниях/, но и являются хорошей иллюстрацией отрицательного влияния атмосферы Земли в практике астрономических наблюдений.

Опыт показывает, что при фотографических наблюдениях подобного типа очень желательным является использование на объективе фотоаппарата бленды. Если отсутствует бленда заводского изготовления, то можно использовать самодельную бленду, которую нетрудно изготовить из плотной бумаги или картона, окрашенных в черный цвет. Если фотографические наблюдения проводятся в условиях большого количества посторонних источников света — использование бленды обязательно. К любой бленде необходимо изготовить крышку, которая легко бы снималась и надевалась.

В каждом классе имеются учащиеся, которые имеют фотоаппараты и умеют фотографировать. Таких учащихся можно привлечь к получению фотографий суточных движений звезд.

Проведите с ними теоретическое занятие, на котором расскажите о широком использовании фотографии в астрономии и ее преимуществах; о том, как получаются подобные снимки; какие требования нужно соблюдать при проведении

фотографических наблюдений; какие дополнительные приспособления сделать; какие предварительные расчеты нужно провести и т. п. Организуйте пробные вечерние фотографические наблюдения, на которых вместе с учащимися отработайте методику получения фотографий суточных путей звезд. Дайте задание получить такие снимки одному ученику в северной части небосвода, другим в южной, восточной и западной частях — и в кабинете физики и астрономии можно изготовить хороший стенд с фотографиями суточных движений светил в разных частях небосвода. Помимо того, что методическая эффективность таких иллюстраций будет гораздо выше — этот материал получили сами учащиеся — такие задания уже позволяют привлечь ученика к практическим работам по астрономии на звездном небе, которых так не хватает курсу астрономии в средней школе.

б) Фотографирование суточных путей Солнца

Опыт показывает, что с помощью малоформатной негидируемой фотокамеры можно получить очень интересные снимки суточных путей Солнца в различных районах небосвода. В проведении таких фотографических наблюдений есть много особенностей.

Поскольку Солнце является чрезвычайно ярким источником света, то перед объективом фотоаппарата необходимо поставить плотный светофильтр, аналогичный тому, какой используется в защитных щитках электросварщиков /малость фокусных расстояний объективов малоформатных камер значительно снижает требования к качеству светофильтра/. Учащимся необходимо обязательно помнить, что большинство фотоаппаратов со шторными затворами /«Зенит», «Зоркий», «ФЭД» и им подобные/ ни в коем случае нельзя направлять открытым объективом на Солнце. Это может привести к прогоранию шторок затвора фотоаппарата. Исключение составляют фотокамеры с центральным затвором /«Смена», «Любитель», «Москва», «Чайка» и им подобные/. Но и в этом случае без необходимости объектив не следует направлять на Солнце — незначительные зазоры между элементами затвора могут привести к засветке негатива.

Прежде чем приступать к фотографированию суточных путей Солнца, совершенно необходимо опытным путем по-

добрать плотность светофильтра, значение диафрагмы, тип фотопленки и режим ее обработки таким образом, чтобы плотность солнечного следа на негативе была оптимальной. В наших экспериментах, при работе с фотоаппаратом «Смена» плотность изображения суточного пути Солнца была оптимальной при использовании светофильтра электросварщика; объектив диафрагмировался до значения диафрагмы 16, съемка велась на диапозитивную пленку чувствительностью около 1 ед. ГОСТа.

Методика проведения таких фотографических наблюдений достаточно проста и напоминает фотографирование суточных движений звезд. Фотоаппарат направляют на заданный район небосвода и жестко закрепляют таким образом, чтобы ожидаемый суточный путь Солнца проходил бы через большую часть кадра видоискателя. Прикрыв объектив фотоаппарата от прямых солнечных лучей рукой, открывают затвор /см. стр. 15/ и, убрав через несколько секунд руку, начинают экспонирование.

Опыт фотографирования суточных движений Солнца говорит о том, что очень важным является отсутствие малейших щелей в системе крепления светофильтра, задней крышки и объектива. Дело в том, что фотоаппарат в течение нескольких часов будет находиться под прямыми солнечными лучами. В случае даже малых зазоров за счет многократных вторичных отражений света может произойти сильная, даже полная засветка негатива. Поэтому в процессе таких съемок фотоаппарат необходимо помещать в мешок из плотной черной ткани с вырезанным отверстием для объектива, а крепление светофильтра тщательно продумать. Мы, например, снимая суточные пути Солнца фотоаппаратом «Смена», вырезали в старом футляре отверстия под объектив и тросик, а щели в креплении светофильтра промазали пластилином. Соблюдение таких рекомендаций позволяет за двух-трехчасовые экспозиции получить характерные треки восходящего или заходящего Солнца /см. фото 2/.

Обычно учащиеся сразу обращают внимание на то, что суточный путь Солнца «изогнут не в ту сторону». Учитель должен знать, что это объясняется проявлением одной из аберраций объектива — дисторсии. В случае идеального объектива /или при съемках суточных движений Солнца камерой - обскурой/ суточный трек Солнца будет прямолинейным, так как суточный путь Солнца с высокой точностью является дугой большого круга.

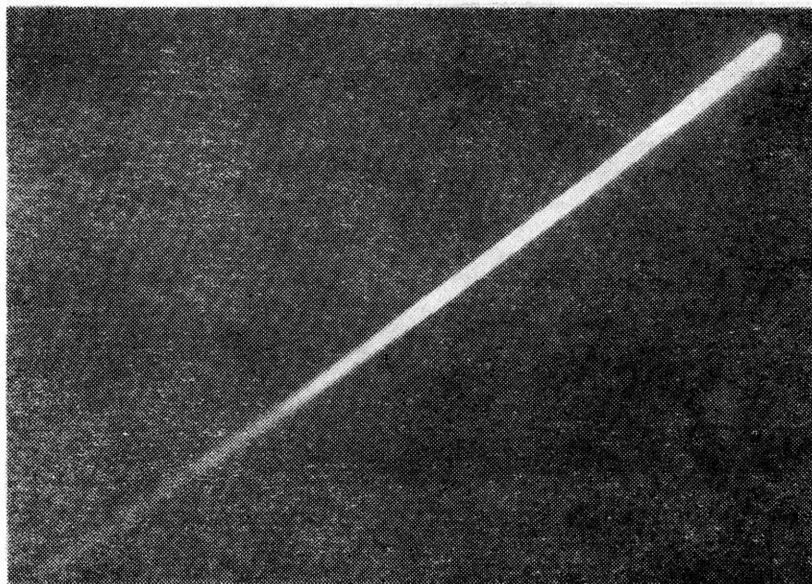


Фото 2. Суточный путь восходящего Солнца. Фотоаппарат «Смена». Экспозиция 3 часа

В большинстве случаев из-за общего покраснения Солнца и ослабления его блеска на малых высотах, вызванных влиянием атмосферы, плотность следа Солнца с высотой будет меняться, что делает снимок еще более интересным.

Можно рекомендовать попытаться, как и в случае звезд, сфотографировать на один и тот же кадр суточный путь Солнца и характерный пейзаж с линией горизонта. Для этого после или до того, как Солнце показалось в видоискателе фотоаппарата, при снятом светофильтре производится обыкновенное фотографирование данного пейзажа. При этом необходимо закрывать объектив от прямых солнечных лучей с помощью бленды или временного экрана.

Значительно проще окончательный отпечаток с пейзажем и суточным путем Солнца получить с двух совмещенных негативов: на одном — суточный путь Солнца, на другом — пейзаж данного района /фото 3/. При этом следует помнить, что плотность изображения небосвода на негативе с пейзажем должна быть незначительной, чтобы не забить суточный трек Солнца при совместной печати. Поскольку яркость све-



Фото 3. Суточный путь заходящего Солнца. Отпечаток сделан с двух совмещенных негативов

чения неба велика, получить такой негатив совсем не просто. Легче всего это сделать, используя установленный перед объективом во время съемки пейзажа красный или оранжевый светофильтр, вырезающий голубую часть спектра /именно в этом участке спектра яркость свечения небосвода максимальна/. В этом случае на одном негативе удается получить хорошо проработанные детали пейзажа и не слишком плотное изображение небосвода, на которое легко впечатывается суточный путь Солнца.

По известному фокусному расстоянию объектива — F и видимому угловому диаметру Солнца α_c легко рассчитать ширину полученного на негативе следа суточного пути Солнца — b. Очевидно: $\frac{b}{F} = \mathrm{tg}\, d_c$. Видимый угловой диаметр Солнца равен 32′. В силу малости этого угла можно полагать:

$$\mathrm{tg}\, d'_c = d'_c \cdot \mathrm{tg} 1' \; ; \quad \mathrm{tg} 1' = \frac{1}{3436}$$

Тогда: $b \sim 0{,}01F$. Если мы работаем с объективом с фокусным расстоянием $F = 50$ мм, то ширина трека на негативе будет $b \approx 0{,}5$ мм.

Однако наиболее интересные в познавательном смысле снимки суточных путей Солнца можно получить в том случае, если существует возможность на один и тот же кадр на о д н а ж д ы жестко установленном фотоаппарате провести фотографирование с интервалом в несколько суток. Такой снимок в очень наглядной форме иллюстрирует следствия годичного движения Солнца по эклиптике.

Понятно, что такие снимки лучше всего делать в то время года, когда склонение Солнца изменяется быстрее всего. Это бывает в весенние и осенние месяцы — именно тогда движение Солнца по эклиптике происходит под наибольшим углом к суточным параллелям.

Рассчитаем, например, суточное изменение склонения Солнца вблизи точки весеннего равноденствия /см. рис. 4/. Полагаем, что за одни сутки Солнце переместится из точки весеннего равноденствия А в точку С, так что дуга $AC = 1°$ /средняя скорость движения Солнца по эклипике/. Треугольник ABC — сферический, прямоугольный /угол при вершине $B = 90°$ — угол между небесным экватором и кругом склонения светила/.

Тогда $\sin BC = \sin 23°27' \cdot \sin 1°; \qquad \smile BC = 24'$

Таким образом, за одни сутки склонение Солнца изменится на 24′. Видимый диаметр Солнца 32′. Ясно, что если мы сумеем с однажды установленной камеры на один кадр сфото-

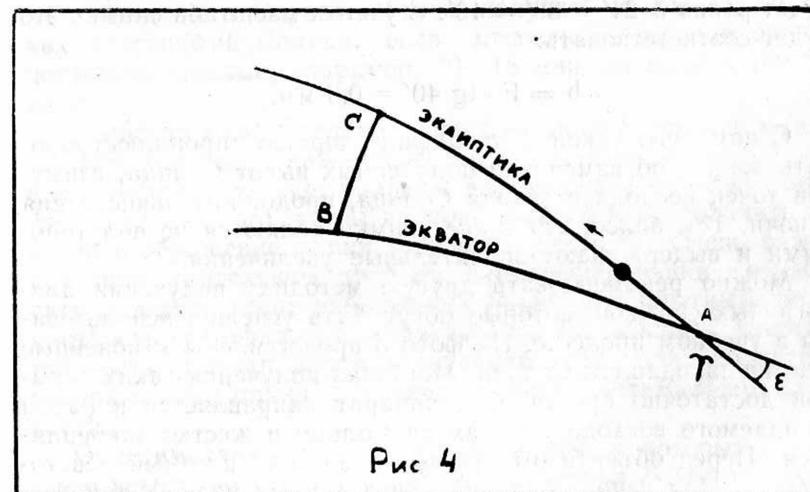


Рис 4

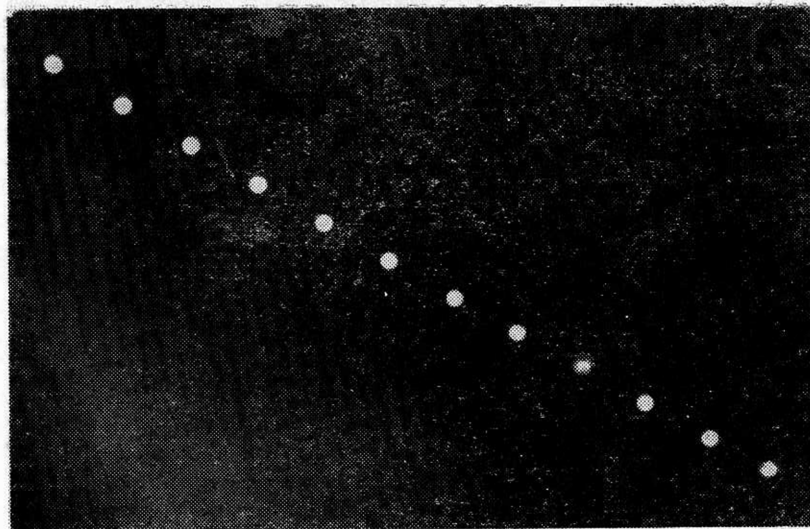


Фото 5. Моментальные фотографии заходящего Солнца. Фотоаппарат «Смена».

графировать суточные пути Солнца через трое суток, то на негативе мы получим два полумиллиметровых /для F = 50 мм/ трека один над другим. Расстояние между ними будет равно $3 \cdot 24' - 32' \approx 40'$. С учетом масштаба снимка это будет соответствовать:

$$b = F \cdot \mathrm{tg}\ 40' = 0{,}6 \text{ мм}.$$

С помощью такой фотографии хорошо проиллюстрировать вопрос об изменении полуденных высот Солнца, азимутов точек восхода и захода Солнца, продолжительности дня и ночи. Тем более, что такие снимки являются не полутоновыми и выдерживают значительные увеличения.

Можно рекомендовать другую методику получения аналогичных снимков, которые могут быть успешно использованы в учебном процессе. На фото 5 представлены мгновенные снимки заходящего Солнца. Методика получения таких снимков достаточно проста. Фотоаппарат направляется в район ожидаемого восхода или захода Солнца и жестко закрепляется. Перед объективом устанавливается плотный светофильтр. При использовании диапозитивных пленок при экс-

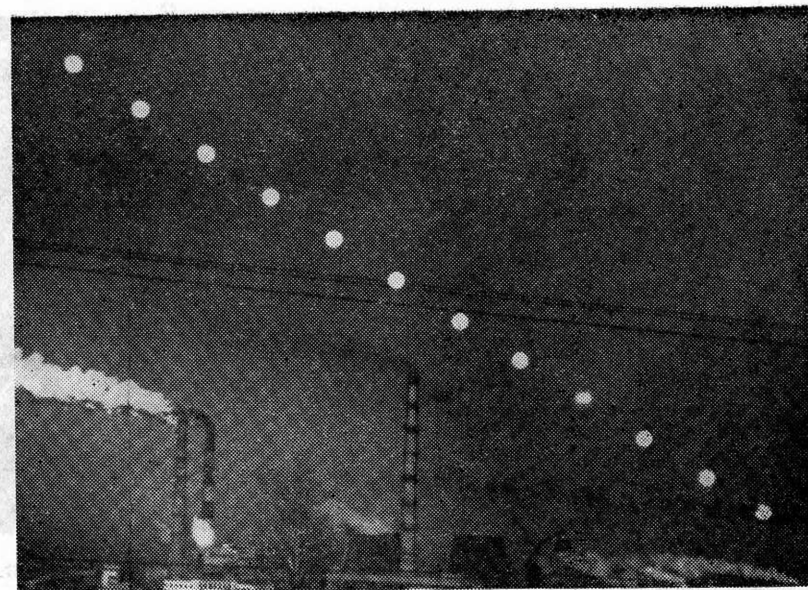


Фото 6. Фотографии заходящего Солнца на фоне пейзажа в районе фотографирования. Фотоаппарат «Смена».

позициях порядка 1/10 с. на негативе удается получить четко очерченный черный кружок диаметром около 0,5 мм хорошей оптической плотности. Это мгновенный снимок восходящего или заходящего Солнца. Можно получить целую серию таких фотографий Солнца, если мгновенное экспонирование повторять каждые, например, 10—15 мин. на один и тот же кадр.

После того как Солнце скроется за линией горизонта /или до того, как оно покажется из под нее/ экспонирование осуществляется с гораздо большей экспозицией/ или без светофильтра/ для того, чтобы на фоне светлой зари получить теневое изображение линии горизонта /фото 6/. Очень важно при предварительном пробном фотографировании отработать методику таких наблюдений /подобрать опытным путем плотность светофильтра, длительность экспозиции, чувствительность пленки и режим ее обработки/ для получения изображений Солнца и теневого пейзажа оптимальной плотности.

Отметим также, что те фотоаппараты, в которых совмещено взведение затвора и перемотка пленки /«Зенит», «Зор-

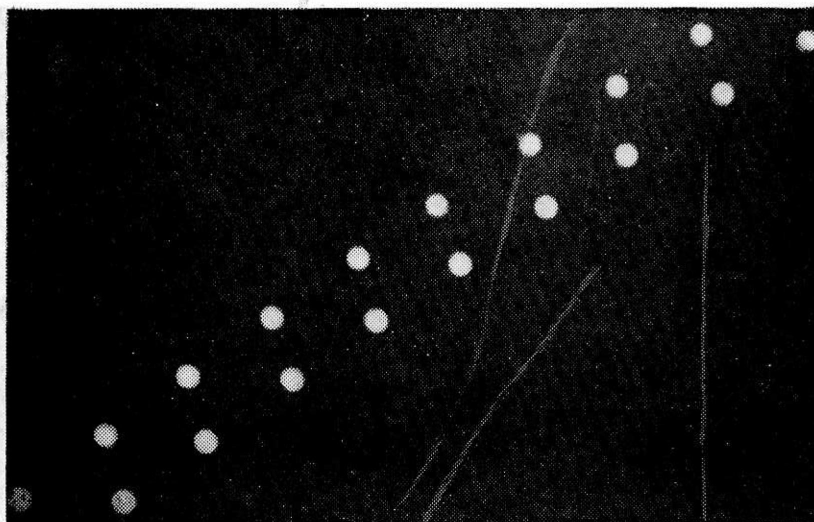


Фото 7. Две серии моментальных фотографий Солнца, сфотографированные фотоаппаратом «Смена» через 3 суток.

кий» и т. п./, необходимо заряжать небольшим отрезком фотопленки с удаленной частью перфорации в районе подающих зубчатых колес. В этом случае при взведении затвора пленка будет оставаться на месте, и на одном кадре можно будет получить целую серию фотографий Солнца. При этом особое внимание следует уделить жесткости крепления фотоаппарата. Он не должен испытывать ни малейших перемещений при взведении затвора.

Легко видеть, что если существует возможность провести 2 или 3 серии таких съемок с интервалом в 3—4 суток на один негатив с помощью однажды жестко установленной фотокамеры, то в распоряжении учителя окажутся уникальные фотографии восходящего или заходящего Солнца /см. фото 7/. Такие снимки не только могут быть с успехом использованы в учебном процессе или при оформлении кабинета физики и астрономии, но и могут быть опубликованы /с подробным описанием методики их получения/ на страницах научно-популярной и методической печати /журнал «Физика в школе», «Земля и Вселенная» и пр./.

Необходимо отметить, что такое фотографирование желательно производить таким образом, чтобы мгновенные снимки Солнца в разные даты получались на одинаковых часовых углах. Этого можно добиться, рассчитав моменты фотографирования во второй серии снимков по известным η' и η'' /значения уравнения времени в даты съемок/ и $T'g$ /моментам съемок Солнца по дектерному времени в первой серии/.

Известно, что связь между t_c и T_g для определенного населенного пункта будет представлена соотношением:

$$t_c = T_g - n^h - 1^h + \lambda - 12^h - \eta,$$

где n и λ часовой пояс и географическая долгота данного населенного пункта.

Пусть T'_g, T''_g, t'_c, t''_c и η', η'', — соответственно показания декретных часов, часовые углы истинного Солнца и уравнение времени в определенные моменты различных серий наблюдений.

Тогда

$$t'_c = T'_g - n^h - 1^h + \lambda - 12^h - \eta''$$
$$t''_c = T''_g - n^h - 1^h + \lambda - 12^h - \eta''$$

Откуда

$$T_g = T_g + (\eta'' - \eta').$$

Пользуясь этим соотношением, легко рассчитать моменты экспонирования во второй серии наблюдений с тем, чтобы изображения Солнца получились на тех же часовых углах, что и в первой серии.

Например, пусть первая серия съемок Солнца была проведена в г. Кирове 1 октября 1979 г. и началась в 16 часов по декретному времени. Уравнение времени на данную дату $\eta' = -9^m 59^s$.

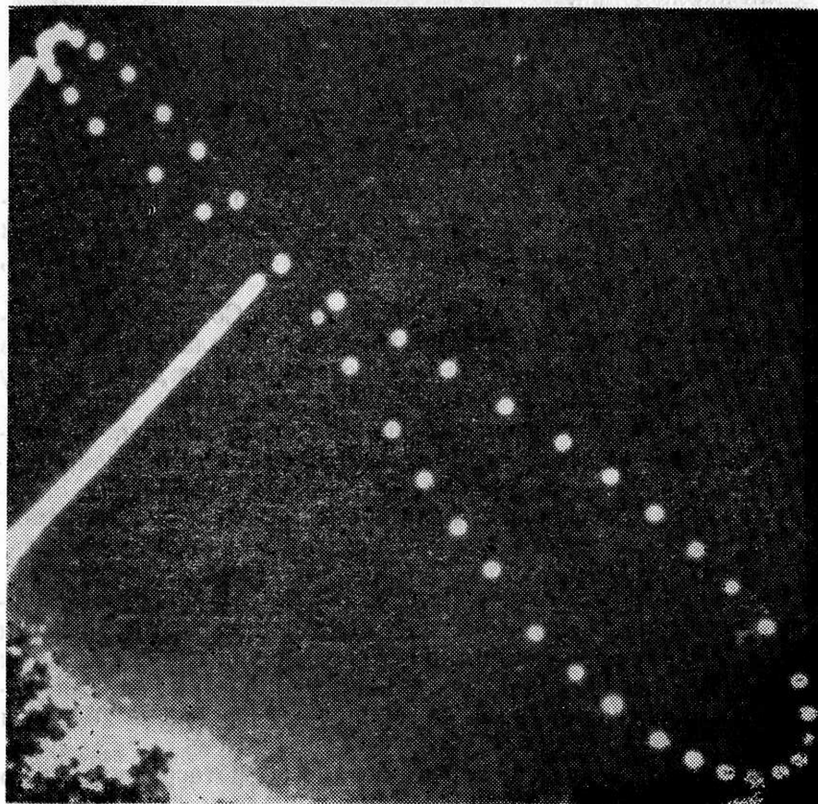
Вторая серия съемок планируется на 5 октября. Уравнение времени на эту дату $\eta'' = -11^m 16^s$. Для того, чтобы изображения Солнца получились на тех же часовых углах, съемки должны начаться в момент времени

$$T''_g = T'_g + (\eta'' - \eta') = 15^h 58^m 57^s.$$

Промежутки времени между двумя соседними экспонированиями одной серии должны быть одинаковыми в первом и втором случаях. Понятно, что при проведении подобных фотографических наблюдений необходимо пользоваться часами или секундомером с заранее выверенным ходом и известной поправкой.

Можно поставить и другие работы по фотографированию суточных движений Солнца. Например, если фотолюбитель имеет возможность в различные даты года устанавливать

фотоаппарат с высокой точностью в одно и то же положение относительно плоскости горизонта и сторон света, то можно рекомендовать попытаться получить серию моментальных фотографий Солнца на один негатив в одно и то же время /с учетом перевода часовых стрелок на зимнее или летнее время/ в различные даты года. Легко сообразить, что, проявив такой негатив, мы получим серию моментальных фотографий Солнца не только на разных высотах, /из-за годичного движения Солнца по эклиптике/, но и на разных часовых углах /из-за непостоянства длительности истинно-солнечных суток/. В отечественной популярной и методической литературе такие снимки не публиковались. Фото 8 взято из научно-популярного журнала американского общества любителей астрономии «Небо и телескоп».


Фото 8.

Большой интерес представляет фотографирование суточных движений Солнца на цветные диапозитивные пленки и получение, таким образом, уникальных слайдов, которые можно очень эффективно использовать при изучении курса астрономии в средней школе.

Положительным моментом в проведении подобных работ является то, что, во-первых, эти наблюдения проводятся в дневные часы и, во-вторых, учителю не обязательно присутствовать при проведении таких наблюдений. Учащиеся после предварительной подробной консультации смогут сделать все самостоятельно.

Проведение фотографических наблюдений за суточным движением Солнца в разных частях небосвода позволяет не только получить интересный фотографический материал, но и привлечь школьника к проведению практических работ на небе без привлечения специального астрономического оборудования.

в) Фотографирование звезд

Негидируемые /стационарно установленные/ фотоаппараты можно использовать также для получения фотографий звездных полей. Конечно, возможности таких «негидируемых астрографов» в этом смысле не велики. Тем не менее следует привлечь учащихся к проведению подобных наблюдений. Это позволит, во-первых, получить достаточно интересные фотографии, и, во-вторых, позволит школьнику получить первые навыки по фотографированию звезд и обработке негативов.

Получение точечных изображений звезд неподвижным фотоаппаратом возможно за такое время экспозиции, за которое изображение звезды на фотопленке переместится /вследствие суточного вращения небосвода/ на расстояние, не больше диаметра дифракционного изображения звезды. Диаметр фактического изображения любой звезды больше ее дифракционного изображения за счет разрастания последнего, вызванного свойствами фотографической эмульсии. Практически считается допустимым смещение изображения звезды на 0,03 мм. Тогда для данного фокусного расстояния F при фотографировании в районе небесного экватора продолжительность максимальной экспозиции может быть рассчитана из следующих соображений. Определим первона-

чально угол α, на который должна повернуться небесная сфера для того, чтобы изображение звезды сместилось на 0,03 мм.

$$\alpha = \operatorname{arc}\ \operatorname{tg} \frac{0,03}{F} \qquad (6)$$

Из этого соотношения можно рассчитать для любого объектива по его фокусному расстоянию — F продолжительность максимально допустимой экспозиции, при которой изображения звезд, сфотографированные неподвижной камерой в районе небесного экватора, все еще будут оставаться точечными. Например, если мы работаем с объективом «Юпитер-8» /F = 50 мм/, то согласно соотношению /6/ $\alpha = 2'$. На такой угол небесная сфера поворачивается за 8 сек.

Угловая скорость видимого суточного движения звезды относительно наблюдателя зависит от склонения звезды. Она максимальна в районе небесного экватора /15° в час/ и равна нулю для гипотетической звезды, лежащей в полюсе мира.

Тогда легко понять, что при фотографировании неподвижной камерой звезд со склонением δ максимальная экспозиция будет равна $T_\delta = \frac{T_0}{\cos\delta}$, где To — максимальная допустимая экспозиция при фотографировании звезд с нулевыми склонениями.

В таблице 4 представлены значения максимально допустимых экспозиций /в секундах/ для объективов с различными фокусными расстояниями при фотографировании звезд с различными склонениями.

Таблица 4

3 мм	28	40	50
0°	15	10	8
30°	17	12	9
60°	30	20	16
80°	85	55	45

Приведенные в этой таблице данные нельзя считать абсолютно точными хотя бы потому, что в поле зрения фотоаппарата попадают звезды с различными склонениями; что размеры дифракционного кружка — изображения звезды —

зависят от качества оптических поверхностей, схемы объектива и т. д.

Лучше всего в каждом конкретном случае поставить серию пробных фотографических наблюдений с тем, чтобы определить для данного объектива точные значения T_{max} Следует знать, что для оценки качества изображений звезд на негативе совершенно необходимо пользоваться лупой /лучше десятикратной/.

Только при таком рассматривании можно заметить те незначительные дефекты в изображении звезды, которые абсолютно незаметны невооруженному глазу. Такие фотографические наблюдения могут быть темой небольшого экспериментального исследования нескольких учащихся.

Предварительно они должны рассчитать примерные значения $T_{тах}$ для районов с различными склонениями /выше было показано как это делается/. Кроме того, им полезно рассчитывать звездную величину звезд, которые удастся зарегистрировать при таких съемках. Для этого можно воспользоваться уже знакомым соотношением:

$$m = -1 + 5\lg D + 2{,}15\lg T\,(\text{мин.})$$

Найдем, например, звездные величины звезд, которые удастся сфотографировать объективом «Юпитер-8» /A = 1:2; D = 25 мм, F = 50 мм/ в районах со склонениями 0°, 30°, 60°, 80°. Согласно таблице 4 продолжительности экспозиций будут соответственно равны 8, 9, 16 и 45 сек. Тогда, как легко рассчитать по приведенному выше соотношению, будут зарегистрированы звезды звездных величин 3,3; 3,5; 4,0; 5,0 соответственно. Следует отметить, что окончательный результат сильно зависит от конкретных условий /состояния неба, типа фотопленки, режима ее обработки и т. п./. Нам, например, без труда удавалось получать таким образом изображения звезд от 4 /в районе небесного экватора/ до 10 /в районе Северного Полюса Мира/ звездной величины.[1]

Методика проведения таких фотографических наблюдений достаточно проста. В районе наблюдения выбираем ровную, открытую площадку, по возможности защищенную от посторонних источников света и ветра. Фотоаппарат устанавливается жестко на штативе и направляется на интересующую нас область небосвода. Очень желательно использова-

[1] К сожалению, по причинам, связанным с техникой печати данного пособия этот и многие другие снимки звезд не могут быть представлены.

ние бленды заводского или самостоятельного изготовления со съемной крышкой. Объектив фотоаппарата закрывается колпачком, а затвор открывается и оставляется открытым /см. стр. 15/. Медленно снимается крышка объектива /или бленды/ и в течение нескольких секунд удерживается перед объективом, не касаясь его. За это время в системе крепления фотоаппарата затухнут все колебания, вызванные спуском затвора и снятием колпачка. Только после этого, убрав крышку объектива /или бленды/ в сторону, начинаем экспонирование. Продолжительность экспозиции лучше всего контролировать с помощью метронома или секундомера.

Такие фотографические наблюдения позволят школьнику получить достаточно интересные фотографии звездных полей или целых созвездий /особенно в околополярной области/. Но главное то, что появятся первые навыки фотографирования звезд, оценки качества изображений, выбора и обработки фотонегативов /где есть свои особенности/ и т. д.

Перечень некоторых работ, которые можно поставить в средней школе силами учащихся с использованием негидируемых малоформатных камер, приведен на стр. 70—71 данного пособия.

Учитель астрономии /особенно учитель сельской школы/ может организовать с учащимися и другие, не менее интересные фотографические наблюдения с помощью негидируемых фотоаппаратов. Можно предложить по крайней мере еще два интересных направления — это фотографические наблюдения метеоров и метеорных потоков и фотографирование серебристых облаков.

Фотографические наблюдения серебристых облаков подробно описаны в книге В. А. Бронштэна,[1] и мы на них останавливаться не будем.

Фотографические наблюдения метеорных потоков достаточно просты. В школьном астрономическом календаре приводятся даты максимумов ряда метеорных потоков. Если в эту ночь небо «хорошее», можно организовать фотографические наблюдения метеоров. Для этого один или несколько школьников после окончания астрономических сумерек, выходят на открытую площадку и устанавливают фотоаппараты так, чтобы они были направлены в различные части небосвода. Фотоаппараты заряжают целыми фотопленками мак-

[1] Бронштэн В. А. Серебристые облака и их наблюдение. М., Наука, 1984.



Фото 9.

симально высокой чувствительности. Предпочтение отдают самым светосильным объективам.

В течение некоторого /чем больше, тем лучше/ промежутка времени фотографируются различные районы небосвода. Длительность экспонирования каждого кадра должна быть меньше предельной для данного объектива, пленки, состояния небосвода и режима обработки. Не нужно стремиться захватывать в кадр видоискателя участки небосвода вблизи горизонта. Такое фотографирование нужно производить в течение как можно большей части ночи.

Так как часовые числа метеоров для активных метеорных потоков обычно составляют несколько метеоров в час[1], то существует большая вероятность того, что на некоторых негативах будут получены фотографии следов метеорных тел, аналогичные фото 9.

Задания на такие фотографирования можно дать нескольким учащимся /имеющим фотоаппараты/ и живущим далеко друг от друга. Нужно только на предварительном за-

[1] Имеются в виду достаточно яркие для фотографической регистрации метеоры.

нятии объяснить им сущность работы, отрепетировать методику съемок, договориться о продолжительности каждого экспонирования и о районах небосвода, которые будет снимать каждый ученик.

§ 3. ГИДИРУЕМЫЕ ФОТОАППАРАТЫ

Программа фотографических наблюдений может быть значительно расширена, если в распоряжении школьного кабинета астрономии будет устройство для гидирования малоформатной камеры. В кабинете астрономии Кировского государственного педагогического института имени В. И. Ленина была разработана конструкция простейшего гида для малоформатного астрографа.

При его конструировании мы исходили из следующих соображений. Во-первых, в силу больших светосил объективов любительских фотокамер продолжительности предельных экспозиций невелики. Как было показано выше, 15—20 минутных экспозиций вполне достаточно в условиях населенных пунктов. Опыт нашей работы показывает, что в подавляющем большинстве случаев придется работать даже с более короткими экспозициями. Значит наши цели будут вполне достигнуты, если наше гидирующее устройство будет «вести» фотокамеру вслед за звездным небом в течение, скажем, 20 минут.

Во-вторых, поскольку в большинстве школ отсутствуют условия для стационарной установки любых астрономических приборов, то желательно, чтобы существовала возможность быстрой и достаточно точной установки прибора по азимуту и широте, не требующая дальнейших проверочных наблюдений.

И в-третьих, очевидно, что в условиях школы желательно иметь такое гидирующее устройство, которое в пределах заданного времени экспозиции работало с достаточной точностью, не требуя визуального контроля за точностью гидирования.

В результате проведенных экспериментов нами был предложен такой прибор — простейший школьный астрограф, — удовлетворяющий вышеперечисленным требованиям.

Прибор /см. фото 10/ смонтирован на основании /1/, которое с помощью установочных винтов /2/ и уровня /3/ может быть установлено в плоскости математического горизон-

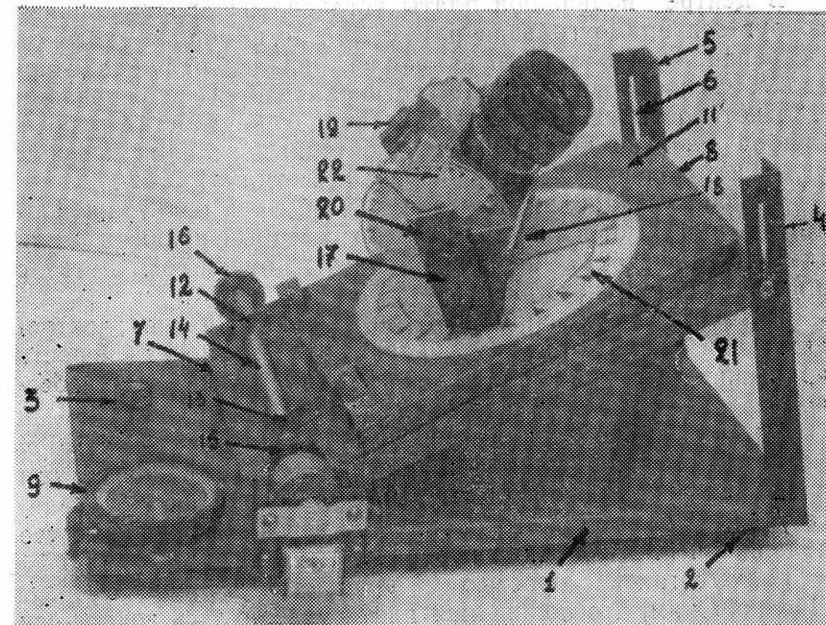


Фото 10. Простейший школьный астрограф.

та. Под углом 90° 1—φ к плоскости основания с помощью шарнирного соединения /7/ и установочных реек /4 и 5/, снабженных регулировочными пазами /6/, укрепляется неподвижная плата /8/. Кроме того, на основании /1/ устанавливается компас /9/, по которому впоследствии прибор будет устанавливаться по азимуту.

Нормально к неподвижной плате крепится ось, вокруг которой вращается подвижная плата /11/. Ее приводят во вращение ножи подачи /12 и 13/, которые скользят по канавкам резьбы винта подачи /14/. Винт подачи укреплен в угольниках /15 и 16/ и приводится во вращение электродвигателем СД-2. Угольники /15 и 16/ имеют в основании пазы, позволяющие им незначительно перемещаться вдоль по неподвижной плате. Это понадобится в процессе предварительных испытаний прибора для регулировки расстояния от оси вращения подвижной платы до падающего винта /14/, а значит для регулировки угловой скорости вращения подвижной платы.

В центре подвижной платы установлена вращающаяся вокруг оси прямоугольная рамка /17/, с помощью которой фотоаппарат может быть направлен на любой район небосвода. Сам фотоаппарат /19/ устанавливается на основании /18/, которое вращается на осях /20/. Для удобства работы прибор снабжен шкалами и указателями величин часовых углов и склонений фотографируемых светил /21 и 22/.

Прибор устанавливается так, чтобы ось вращения подвижной платы была направлена на северный полюс мира, так что плоскость подвижной платы будет совпадать с плоскостью небесного экватора.

Размеры конструкции, шаг винта подачи и тип электродвигателя выбирают таким образом, чтобы угловая скорость вращения подвижной платы была такой же, как и у небесной сферы — 1 оборот в звездные сутки.

Рассчитаем по заданным шагу винта подачи — d мм и скорости его вращения — n об/мин. — расстояние от оси вращения подвижной платы /10/ до оси подающего винта /14/. Обозначим это расстояние через R. Очевидно, что подвижная плата должна поворачиваться на 1° за $3^m56^s = 3^m,93$ /с такой скоростью вращается небесная сфера/. Предположим, что подвижная плата повернулась вокруг оси вращения на один градус за $3^m,93$. Подающие ножи за это время переместятся на величину отрезка AB=3,93nd мм. Легко выразить радиус вращения подвижной платы:

$$R = \frac{3,93\ nd}{\mathrm{tg}\ 1^\circ} \qquad (7)$$

В наиболее простом конструктивном исполнении в качестве электродвигателя подачи использовался электромотор СД-2 об/мин. Его называют иногда электродвигатель. Уоррена. При его использовании необходимо помнить, что редуктор данного электродвигателя должен быть определенным образом расположен по направлению к отвесной линии /на первых моделях на корпусе редуктора было выгравировано слово «низ»/.

Предположим, что шаг винта подачи d=1 мм. Подставив эти данные в полученное соотношение, найдем, что в нашем случае R=450 мм. При шаге винта подачи 0,5 мм, R=225 мм.

При изготовлении такого гидирующего устройства особенно внимательно нужно подойти к изготовлению подающего винта. Это самый ответственный узел. Так как в процессе гидирования изображение звезды не должно смещаться более чем на 0,03 мм, то биения, возникающие при вращении подающего винта, могут быть во столько раз больше 0,03 мм, во сколько раз радиус вращения подвижной платы — R — больше фокусного расстояния объектива — F.

В нашем случае R=450 мм, для объектива с F=50 мм биения винта должны быть не более $0,03\,\frac{450}{50} \approx 0,3$ мм. В действительности они должны быть еще меньше.

Поэтому к изготовлению подающего винта нужно подойти очень аккуратно; заказать его изготовление учебному мастеру школьных мастерских. Диаметр винта следует сделать не менее 15—20 мм, а **шаг и профиль резьбы должны быть выдержаны с точностью 0,1 мм.** Подающий винт желательно укрепить в двух шариковых подшипниках, и после сборки еще раз убедиться, что радиальные биения отсутствуют.

Требования к биению узла тем выше, чем больше фокусное расстояние используемой фотокамеры и чем меньше шаг винта /а значит и радиус вращения подвижной платы/.

В условиях школы предпочтительнее изготовить гид с R=450 мм, d=1 мм. Подающий винт важно изготовить из такого материала /лучше всего из бронзы или латуни/, чтобы при нарезании резьбы на нем не образовались бы заусенки, которые потом «испортят» качество гидирования.

Изготовление такого прибора можно поручить группе школьников, работающих в учебных мастерских, объяснив учебному мастеру устройство прибора.

Окончательная юстировка величины R производится по результатам пробных визуальных или фотографических наблюдений путем перемещения угольников /15 и 16/ крепления подающего винта.

Рассчитаем допустимые погрешности установки и гидирования данного прибора. Будем исходить из следующих моментов.

Во-первых, известно, что для получения точечного изображения смещение изображения звезды на пленке за счет ошибок гидирования не должно превышать 0,03 мм. При работе с объективом, имеющим стандартное фокусное расстояние 50 мм, это будет соответствовать допустимой ошибке гидирования

$$\Delta\alpha = \mathrm{arc\ tg}\ \frac{0,03}{50} = 0^\circ,034 \approx 2'.$$

Во-вторых, для каждого объектива существует предельная экспозиция, начиная с которой фон неба начинает забивать изображения слабых звезд. Ее величина рассчитывается по формуле:

$$\lg T_{пр} = (0{,}6 - 2{,}351 \ \lg A) \ мин.$$

где A — относительное отверстие объектива. Например, при работе с объективом «Юпитер-8», относительное отверстие которого A=1:2, предельная экспозиция равна

$$T_{пр} = 20{,}3 мин.$$

Для крупных населенных пунктов эта величина должна быть значительно уменьшена /в два-четыре раза/ из-за очень сильной подсветки небосвода искусственными источниками света. Для таких случаев нет смысла экспонировать пленку более 5—10 минут.

В-третьих, в распоряжении учителя астрономии, как правило, будут стандартные фотопленки /«Фото-65», «Фото-90» и т. д./. Рабочие свойства таких фотопленок весьма сильно отличаются от характеристик специальных астрономических эмульсий. Главное их отличие состоит в том, что они предназначены для работы на «моментальных» экспозициях. Происходит быстрое «насыщение» эмульсионного слоя, и их чувствительность падает до малых значений. В отличие от них астрономические эмульсии обладают свойством «сохранять» свою чувствительность довольно постоянной и при длительных экспозициях. Поэтому не нужно думать, что если при работе с такими фотопленками мы увеличим продолжительность экспозиции в 2 раза /например, с 10 до 20 минут/, то получим изображения в 2 раза более слабых объектов. Для серийных фотопленок такое происходит только на очень коротких /порядка десятка секунд/ экспозициях.

Конечно, при фотографировании звезд /с экспозициями меньше, чем предельные / нужно стремиться использовать фотопленки максимально высокой чувствительности, но стремление к очень длинным экспозициям не всегда оправдано. Во многих случаях очень хороших результатов можно добиться, используя фотопленки средней чувствительности, тем более, что существуют простые способы «поднимать» чувствительность используемых фотопленок специальными методами обработки /см. стр. 67/.

Найдем предельную экспозицию, при которой ошибка гидирования, вызванная увеличением радиуса вращения подвижной платы, будет равняться 2 минутам дуги.

Пусть за некоторое время T мин. подвижная плата повернулась на угол α_1. Очевидно, что за это время подающие ножи переместятся на величину отрезка AB=n2Td мм влево. Очевидно:

$$\alpha_1 = \operatorname{arc\,tg} \frac{2Tdn}{l}$$

За это же время небесная сфера повернется на угол $\alpha_2 = \frac{T}{3{,}93}$.

Разница между этими двумя углами должна быть меньше двух минут дуги:

$$\operatorname{arc\,tg} \frac{2Tdn}{l} - \frac{T}{3{,}93} < 2'$$

Откуда:

$$T < 28 \ мин.$$

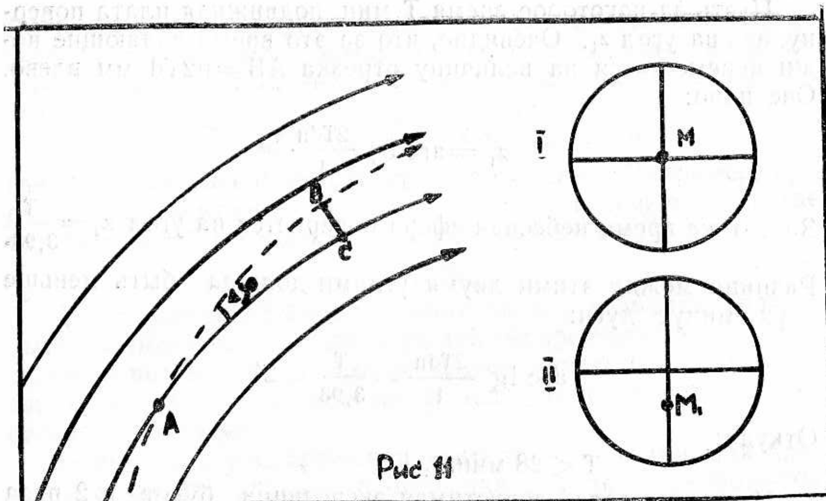
На самом деле допустимая экспозиция будет в 2 раза больше. Экспонирование можно начать, когда подвижная плата повернута на угол $\alpha_1 = \alpha_2$ вправо от центрального положения ножей.

Из полученного следует вывод: ошибкой гидирования, вызванной увеличением радиуса вращения подвижной платы, можно пренебречь. За время экспозиции /которое, как мы показали выше, не превышает 20 мин./ она будет заведомо меньше допустимой величины — 2 минут дуги.

Предположим, что радиус вращения подвижной платы есть величина постоянная. В этом случае на точность работы гида будет оказывать влияние непостоянство частоты тока, питающего двигатель. Согласно ГОСТу частота промышленного тока поддерживается с точностью до 0,5%. Найдем максимально допустимую по длительности экспозицию, при которой ошибка гидирования будет равна 2′, при условии, что она вызвана постоянно существующим 0,5% отклонением частоты питающего тока.

Пусть продолжительность экспозиции такова, что в гидировании накопилась ошибка в 2′ дуги. Поскольку при малых экспозициях угол поворота подвижной платы пропорционален числу оборотов ротора электродвигателя, а значит и частоте питающего тока, можно считать, что 2′ составляют 0,005 от полного угла поворота небесной сферы — α. $2' = 0{,}005\,\alpha$. Откуда

$$\alpha = 400' \approx 6^\circ{,}7$$



На такой угол небесная сфера поворачивается за 26,7 минут. Значит при постоянном отклонении частоты питающего тока на 0,5% ошибка в гидировании превысит допустимые 2′ только через 26,7 мин., что опять-таки значительно больше предельной экспозиции /напомним, что мы проводим расчеты для объектива «Юпитер-8», A=1:2, F=50 мм/.

В действительности же среднее отклонение частоты промышленного тока еще меньше, и потому для таких малоформатных «астрографов» можно вполне получить точное, «бесподстроечное», автоматическое гидирование в пределах длительности рекомендуемых экспозиций.

На точность гидирования будут также влиять возможные ошибки в установке прибора по азимуту и по широте. Рассчитаем допустимую ошибку в установке прибора по широте.

Пусть AC /см. рис. 11/ часть суточной параллели звезды с нулевым отклонением в восточной части небосвода за время экспозиции 20 мин, т. е. дуга AC равняется 5 градусам. ◡AB — часть суточной параллели оси камеры за время экспозиции, т. е. ◡AB=5°. Угол при вершине A равен ошибке в установке прибора по широте. Дуга BC должна быть равна допустимой ошибке гидирования, т. е. ◡BC=2′. Из сферической тригонометрии известно

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$$

Применительно к нашему случаю

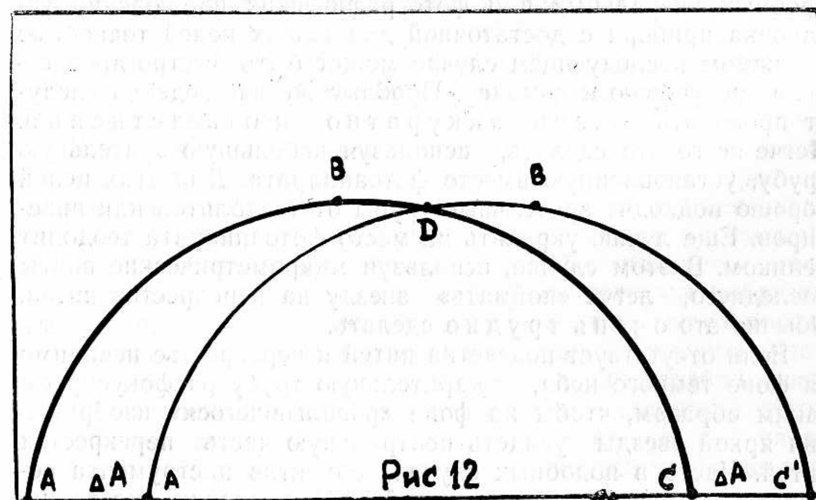
$$\cos 2' = \cos^2 5^\circ + \sin^2 5^\circ \cos \Delta\varphi$$

Откуда

$$\Delta\varphi \approx 0^\circ{,}5$$

Это, конечно, достаточно жесткое условие. Однако необходимо отметить, что с такой точностью необходимо устанавливать прибор по широте при проведении фотографических наблюдений в восточном и западном вертикалах. При фотографировании небесных светил вблизи меридиана это требование становится значительно менее жестким. Нам удавалось получить точечные изображения кульминирующих звезд за минутные экспозиции при горизонтально /!/ установленной подвижной плате.

Рассчитаем допустимую ошибку в установке прибора по азимуту. Пусть /см. рис. 12/ дуга ABC — небесный экватор, а дуга A′B′C′ — линия пересечения плоскости неподвижной платы с небесной сферой. Дуга горизонта AA′ показывает, на сколько мы ошиблись в установке прибора по азимуту. Рассмотрим сферический треугольник A′AD. Сторона AA′ равняется △A. Угол при вершине D, если мы хотим за 20-минутную экспозицию получить ошибку гидирования не более 2′, должен быть равен 0°,50 /смотри предыдущий вывод/. Углы при вершинах A и A′ равны соответственно $(90^0-\varphi)$ и $(90^0+\varphi)$. Сторона AD в первом приближении может счи-



таться равной $(90° - \frac{\Delta A}{2})$. Используя теорему синусов, запишем

$$\frac{\sin D}{\sin \Delta A} = \frac{\sin A}{\sin A'D}; \quad \frac{\sin 0°,5}{\sin \Delta A} = \frac{\sin (90° - 58°,6)}{\sin \left(90° - \frac{\Delta A}{2}\right)}; \quad \varphi_к = 58°,6$$

Откуда

$$\Delta A \approx 1°$$

Понятно, что это достаточно жесткое условие и что установка прибора с такой точностью «на глаз», конечно, невозможна. Однако следует помнить, что требования к точности установки прибора по азимуту будут значительно менее жесткими при фотографировании светил, лежащих далеко от плоскости меридиана или имеющих большие склонения. Кроме того, ниже будет показано, каким образом, используя результаты пробных визуальных или фотографических наблюдений, можно добиться установки прибора по азимуту /и по широте/ с необходимой точностью.

Таким образом, «качество» работы нашего гида будет в сильной степени зависеть от точности его установки по широте и азимуту, а также от того, насколько точно выдержано расстояние от оси вращения подвижной платы до подающего винта.

Опыт нашей работы показывает, что после проведения пробных визуальных или фотографических наблюдений установка прибора с достаточной для наших целей точностью в каждом последующем случае может быть быстро произведена по уровню и компасу. Пробные же наблюдения следует проводить очень аккуратно и ответственно. Легче всего это сделать, используя небольшую зрительную трубу, установленную вместо фотоаппарата. Для этих целей хорошо подходят зрительные трубы от теодолитов или нивелиров. Еще лучше укрепить на место фотоаппарата теодолит целиком. В этом случае, используя микрометрические винты последнего, легче «поймать» звезду на перекрестье нитей. Обычно это очень трудно сделать.

Если отсутствует подсветка нитей и перекрестье невидимо на фоне темного неба, то зрительную трубу расфокусируем таким образом, чтобы на фоне «расплывшегося» изображения яркой звезды увидеть центральную часть перекрестья нитей. Часто в подобных случаях объектив инструмента освещают неярким светом от какой-либо лампочки, что также

позволяет видеть перекрестье нитей и звезду на фоне более светлого неба.

Установим ножи подачи в центральное положение, отметив это положение риской на неподвижной плате.

Прежде всего необходимо проверить, равняется ли скорость вращения подвижной платы в ее среднем положении 1 обороту в звездные сутки. Для этого на открытом и удобном для наблюдений месте установим прибор так, чтобы ось вращения подвижной платы была направлена примерно на Полярную звезду. Основание прибора устанавливается по уровню в плоскости горизонта.

«Поймаем» на перекрестье нитей какую-либо звезду вблизи плоскости меридиана в южной части небосвода и включим электродвигатель.

Теодолит на подвижной плате устанавливаем так, чтобы он был направлен на район небесного экватора вблизи плоскости меридиана. Если положение меридиана неизвестно с достаточной точностью, удобнее всего рассчитать время верхней кульминации звезды с известным прямым восхождением. С достаточной для наших целей точностью это можно сделать, используя соотношение:

$$T_g = \alpha_к - 4^m \cdot n - \lambda + N^h + 13^h$$

где $\alpha_к$ — прямое восхождение кульминирующей звезды;
λ — географическая долгота наблюдателя;
N — часовой пояс наблюдателя;
n — число полных суток, прошедших с полудня 21 марта по данную дату;
T_g — зимнее время.

Для упрощения расчетов следует помнить, что величина $4^m \cdot n$ есть не что иное, как прямое восхождение среднего солнца на данную дату. Поэтому при наших приблизительных расчетах можно исходить из того, что $\alpha_{ср}$ в даты 21 марта, 22 июня, 22 сентября и 22 декабря равняется соответственно 0^h, 6^h, 12^h, 18^h. Поэтому, если мы работаем, например, 17 декабря, то нет смысла считать число полных суток, прошедших с полудня 21 марта по 17 декабря. Удобнее сосчитать, сколько суток осталось до 22 декабря, когда $\alpha_{ср} = 18$ часов, так как до 22 декабря осталось 5 суток, а прямое восхождение среднего солнца — $\alpha_{ср}$ — увеличивается за сутки примерно на 4 минуты, то 17 декабря $\alpha_{ср} = n \cdot 4^m = 18^h - 4^m \cdot 5 = 17^h 40^m$.

Таким образом легко рассчитать с удовлетворительной точностью время верхней кульминации звезды с известным прямым восхождением. В найденный момент «ловим» звезду на перекрестье нитей зрительной трубы и включаем электродвигатель.

Если по прошествии некоторого времени /меньше нашего $T_{пр}$/ изображение звезды сходит с перекрестья, например, вправо, значит угловая скорость вращения подвижной платы больше 1 об. в звездные сутки /труба дает перевернутое изображение/. Необходимо, перемещая угольники, /15 и 16 см, фото 10/, увеличить длину плеча подачи R. В противоположном случае длина плеча уменьшается.

Действуя таким образом, необходимо добиться, чтобы за время, не меньшее $T_{пр}$, не происходило бы смещения звезды с перекрестья вправо или влево /но не вверх и вниз — это обусловливается ошибкой установки по азимуту — см. далее/. Каждое последующее наблюдение из этой серии необходимо проводить на звездах, находящихся вблизи верхней кульминации, — вблизи меридиана.

После того, как отрегулирована скорость вращения подвижной платы, добиваемся правильной установки прибора по азимуту. Для этого прежде всего у предварительно установленного прибора каким-либо образом отмечаем положение конца магнитной стрелки компаса. Затем «ловим» на перекрестье нитей трубы какую-либо звезду вблизи плоскости меридиана и включаем электродвигатель.

Легко видеть, что в случае неправильной установки прибора по азимуту звезда достаточно быстро будет сходить с перекрестья нитей вверх или вниз /см. рис. 13/.

На рисунке представлен вид южной части небосвода. ABC — суточная параллель какой-либо звезды. A′B′C′ — траектория точки пересечения оптической оси зрительной трубы с небесной сферой. AA′ = CC′ — ошибка в установке прибора по азимуту. В нашем случае с течением времени звезда будет уходить вниз от траектории оси трубы. Если наша зрительная труба дает перевернутое изображение, мы увидим, что изображение звезды сместится вверх от перекрестья нитей на дугу M′M″. Понятно, что в этом случае необходимо повернуть весь экваториальный стол на некоторый угол в плоскости горизонта в сторону «востока». Если же изображение звезды будет смещаться вниз от перекрестья

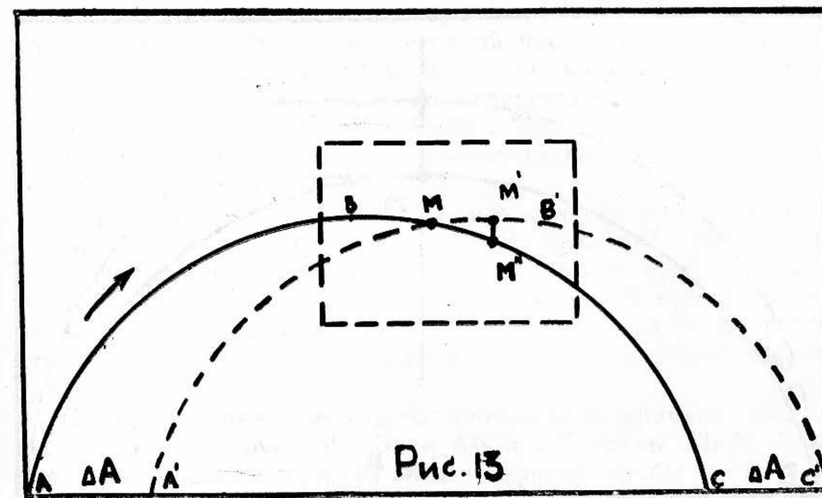


Рис. 13

нитей, значит всю монтировку необходимо повернуть в плоскости горизонта в сторону «запада».

Пусть в нашем случае звезда сместилась с перекрестья нитей вниз. Выключим электродвигатель, поставим ножи подачи в среднее положение /по риске/ и повернем всю монтировку в плоскости горизонта на небольшой угол /2°—3°/ в сторону «востока». Величину такого угла легко зарегистрировать по компасу, установленному на приборе; необходимо только помнить, что в процессе такой работы к компасу нельзя близко подносить никаких «новых» металлических деталей /фонарик, часы и т. п./. Хранить его также нужно вдали от различных магнитов.

Ищем в плоскости меридиана какую-либо другую, достаточно яркую звезду и ловим ее на перекрестье нитей зрительной трубы. Включаем электродвигатель. Если в течение 15—20 минут звезда остается на перекрестье, можно считать, что по азимуту прибор установлен правильно. Если же наблюдается «сход» звезды с перекрестья, то в зависимости от направления «схода» прибор снова поворачивается в плоскости горизонта в ту или другую сторону.

Опыт показывает, что при правильно проведенных расчетах и аккуратности в проведении таких наблюдений достаточно бывает двух-трех таких коррекций положения прибора по азимуту.

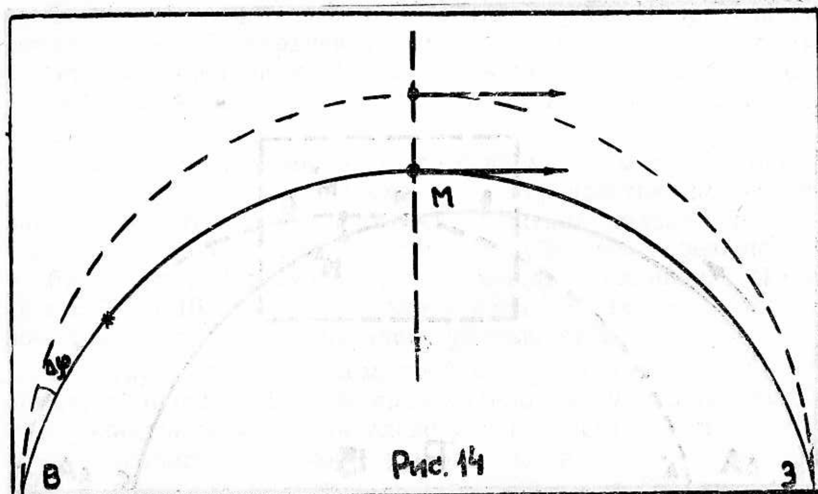


Рис. 14

После установки прибора по азимуту необходимо обязательно отметить каким-либо способом положение конца магнитной стрелки компаса. Это позволит впоследствии быстро устанавливать прибор для проведения фотографических наблюдений, пользуясь только уровнем и компасом.

Для установки прибора по широте проверяют гидирование звезд на азимутах 90° или 270° /в западной или восточной частях небосвода/. Легко понять, что именно в этом случае ошибка в установке прибора по широте проявит себя быстрее всего. Пусть на рисунке /см. рис. 11/ представлен вид восточной части небосвода.. Сплошными линиями показаны направления суточных движений восходящих звезд. Пунктирная линия — траектория точки пересечения оптической оси зрительной трубы с небесной сферой. Ясно, что ошибка в установке прибора по широте — $\Delta\varphi$ — есть угол между этими линиями.

Для сравнения отметим, что ошибка в установке прибора по $\Delta\varphi$ при наблюдениях в меридиане будет менее заметна. В самом деле, пусть /см. рис. 14/ сплошная линия — суточный путь звезды, а пунктирная — суточный путь оси зрительной трубы. Ясно видно, что вблизи меридиана отрезки этих линий практически параллельны.

Итак, пусть прибор установлен в плоскости горизонта /по уровню/ и по азимуту /как это было описано выше/. Устанавливаем подающие ножи прибора в среднее положение /по рискам/. Выбираем в восточной части /или в западной части/ небосвода яркую звезду и, не изменяя положения подвижной платы, ловим ее на перекрестье нитей окуляра. Включаем электродвигатель. Если $\Delta\varphi = 0$, то звезда в течение длительного промежутка времени /10—15 мин./ будет оставаться на перекрестье.

Пусть $\Delta\varphi \neq 0$. На рис. 11 представлен вид восточной части небосвода. Линия СА — часть суточной параллели наблюдаемой звезды; АВ — часть суточного пути оси зрительной трубы. Угол между ними равен $\Delta\varphi$. В момент пуска электродвигателя звезда М была «поймана» на перекрестье нитей. Цифрой 1 на рисунке обозначен вид поля зрения трубы в этот момент.

По прошествии некоторого промежутка времени звезда переместится в точку M_1. Дуги АВ и АС равны. Цифрой II отмечена видимая картина в поле зрения трубы в тот момент времени, — смещение звезды происходит вниз /при условии, что в первоначальный момент линии перекрестья были установлены параллельно и нормально к плоскости экватора/. Ясно, что в нашем случае необходимо уменьшить угол между плоскостью горизонта и неподвижной платой. Для этого, ослабив винты крепления регулировочных реек /4 и 5, см. фото 10/, осторожно опускаем подвижную плату на 1—2 мм. Для удобства в работе на торце неподвижной платы нужно иметь указатель положения, а на установочных рейках наклеить, например, полоски миллиметровки, на которых отмечается карандашом каждое новое положение неподвижной платы. После новой установки прибора по широте цикл наблюдений следует повторить. Опыт показывает, что двух-трех коррекций в установке прибора по широте бывает вполне достаточно.

Может оказаться так, что в распоряжении учителя не окажется зрительной трубы, окуляр которой имеет перекрестье нитей. В этом случае все регулировочные операции, о которых было сказано выше, могут быть проведены на основании только пробных фотографических наблюдений. Однако это потребует более длительного времени.

Прежде всего убедимся в лабораторных условиях, что угол между подвижной и неподвижной платами равен $90° - \varphi$ с максимально возможной в условиях школы точностью. Установим прибор на площадке наблюдений так, чтобы плоскость неподвижной платы лежала в горизонте /по уров-

ню/, а ось вращения подвижной платы была направлена на Полярную звезду /примерно/. Произведем первое фотографирование неба в районе экватора, вблизи плоскости небесного меридиана. Время экспозиции 10—15 минут.

Предположим, что в нашем приборе присутствуют ошибки установки по широте — $\Delta\varphi$; по азимуту — ΔA и ошибка в скорости гидирования, вызванная «неправильной» длиной плеча R. Как мы показывали выше, при фотографировании кульминирующих светил /а такие все-равно будут на кадре из-за большого поля зрения/, ошибка в установке по широте практически не сказывается на качестве их изображений.

Очень важным для нас является тот факт, что ошибка в скорости вращения подвижной платы и ошибка в установке прибора по азимуту будут приводить к смещению изображения звезды на негативе в различных направлениях! Пусть /см. рис. 13/ сплошная линия — суточный путь звезды в южной части небосвода, пунктирная кривая — суточный путь оптической оси астрографа по небосводу. Пунктирный прямоугольник — участок небосвода, изображение которого строится на негативе, т. е. большая сторона кадра нашего фотоаппарата установлена параллельно плоскости горизонта. ΔA — ошибка в установке прибора по азимуту. Ее наличие, как видно на рисунке, приводит к смещению изображения звезды в направлении $M'M''$, т. е. параллельно малой стороне кадра. Ошибка же в скорости гидирования астрографа будет приводить к смещению изображения звезды вдоль суточной параллели, т. е. параллельно большой стороне кадра.

Учет подобных соображений позволяет рекомендовать следующую методику проведения пробных фотографических наблюдений. Проводим серию фотографирования одного и того же района небосвода /$\delta = 0°$, $t = 0°$/ при значениях плеча подачи R, например, 446 мм, 448 мм, 450 мм, 452 мм, 454 мм /см. стр. 36/. Помним, что во время каждого фотографирования основание фотоаппарата должно быть направлено параллельно горизонту. После проявления пленки мы получим пять фотографий различных кульминирующих звезд. Используя десятикратную лупу или, в крайнем случае, объектив фотоаппарата, внимательно рассматриваем изображения звезд. Необходим тот снимок, на котором изображение звезды сместилось параллельно малой стороне кадра. Значение плеча подачи, при котором был получен выбранный

снимок, устанавливается для проведения всех последующих фотографических наблюдений.

Опыт показывает, что целесообразно при проведении этой серии фотографических наблюдений воспользоваться объективом со значительно большим фокусным расстоянием /мы, например, использовали объектив «Юпитер-9» /F = 85 мм, A = 1:2/. При прочих одинаковых условиях использование объектива с большим фокусным расстоянием приводит к большим смещениям изображений звезд, вызванных различного рода ошибками установки и гидирования. Проведение одной, в крайнем случае двух, таких серий фотографических наблюдений кульминирующих звезд позволяет окончательно отрегулировать длину плеча R и тем самым свести на «нет» ошибку в скорости гидирования. Для более удобной работы на подвижную плату около угольников крепления подающего винта следует приклеить по полоске миллиметровой бумаги, на деления которой мы будем ориентироваться при изменении положения подающего винта в данной серии наблюдений.

Следующий этап работы — устранение ошибки в установке прибора по азимуту. Как мы показывали выше, такая ошибка при фотографировании кульминирующих светил будет приводить к смещению изображения звезды в направлении, параллельном малой стороне кадра /при условии, что основание фотоаппарата параллельно горизонту/.

Как и в первом случае, проводим целую серию фотографирований кульминирующих светил /5—6 снимков/ с экспозициями 10—15 минут. Условия фотографирования будут отличаться только различной ориентацией прибора по сторонам света — перед каждым снимком поворачиваем основание прибора в плоскости горизонта на 2—3 градуса в ту или иную сторону относительно ожидаемого положения меридиана. Такой угол поворота основания легко контролировать по положению конца стрелки ученического компаса, установленного на основании прибора. Например, приблизительная установка прибора была такой, что против южного конца магнитной стрелки компаса оказалась цифра 180°. Тогда можно рекомендовать сделать серию из 5 снимков так, чтобы против южного конца стрелки компаса были цифры 174°, 177°, 180°, 183° и 186° /цена деления шкалы школьного компаса — 3°/. Так же, как и в первом случае, во время таких фотографических наблюдений целесообразно использовать объектив с большим фокусным расстоянием. После проявле-

4 Заказ 4188.

ния пленки в нашем распоряжении окажутся пять снимков различных, но кульминирующих звезд, изображения которых будут вытянуты в треки различной длины, но в одном и том же направлении — параллельно малой стороне кадра. Если отсутствует снимок с точечными изображениями звезд, следует провести еще одну серию фотографических наблюдений вблизи такой установки астрографа по азимуту, при которой получались изображения следов звезд наименьшей длины. Опыт показывает, что, как правило, двух серий снимков кульминирующих звезд бывает вполне достаточно, для достаточно точной /для наших целей/ установке прибора по азимуту.

В заключение проводится серия фотографических наблюдений в восточном или западном вертикале. Именно здесь сильнее всего проявляет себя ошибка в установке прибора по широте. Проведем серию из 5—6 фотографий звезд /$\delta = 0°$, $t = 6^h$/ с экспозициями 10—15 мин. Условия фотографирования будут отличаться тем, что перед каждым снимком будем изменять угол наклона неподвижной платы к основанию /см. об этом подробнее стр. 47/. Каждое новое положение неподвижной платы аккуратно отмечаем или записываем. После проявления пленки в нашем распоряжении окажутся несколько негативов, среди которых найдется такой, на котором изображения звезд будут либо точечными, либо будут иметь вид треков минимальной длины. В последнем случае следует провести еще одну серию фотографических наблюдений вблизи положения подвижной платы, при котором получались треки минимальной длины.

Следует отметить, что при проведении всех пробных фотографических наблюдений необходимо диафрагмировать объективы до таких значений относительных фокусных расстояний, для которых экспозиции /в нашем случае 15 мин/ не будут приводить к вуалированию негатива, т. е. будут меньше предельных экспозиций /см. стр. 6/. После окончательной установки прибора по азимуту и широте необходимо отметить риской положение конца магнитной стрелки компаса и жестко закрепить неподвижную плату относительно основания. Все это позволит сделать прибор мобильным и при следующих наблюдениях быстро устанавливать его в рабочее положение, пользуясь только компасом и уровнем.

Опыт нашей работы с аналогичным прибором показал его высокую надежность в работе, хорошее качество гидирования и простоту его установки и эксплуатации.

Использование такого гида в школьных фотографических наблюдениях позволяет без особых трудностей получать изображения объектов до 9—10 зв. величины и поставить большой круг работ различного содержания /см. об этом подробнее стр. 71/.

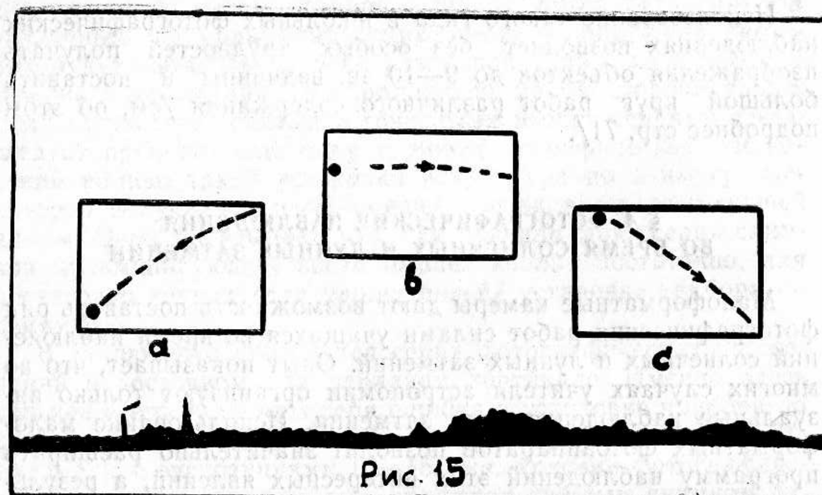
§ 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ И ЛУННЫХ ЗАТМЕНИЙ

Малоформатные камеры дают возможность поставить ряд фотографических работ силами учащихся во время наблюдений солнечных и лунных затмений. Опыт показывает, что во многих случаях учителя астрономии организуют только визуальные наблюдения хода затмения. Использование малоформатных фотоаппаратов позволит значительно расширить программу наблюдений этих интересных явлений, а результаты таких работ можно применять не только для иллюстрации соответствующих разделов курса астрономии, но и использовать для оформления школьного кабинета физики и астрономии.

Самое простое — это получение серии фотографий хода солнечного или лунного затмения с помощью любой стационарной камеры. Для этого достаточно установить фотоаппарат таким образом, чтобы затмевающиеся Луна или Солнце находились в левой части кадра. Во время хода затмения Луна или Солнце, участвуя в суточном вращении небосвода, должны переместиться по всему полю зрения видоискателя фотоаппарата. На рисунке 15 показано желательное положение Луны или Солнца в кадре видоискателя в момент начала затмения для затмений, наблюдаемых в первой половине дня /a/, вблизи полудня /b/ и во второй половине дня /c/.

Предположим, что наблюдаемое затмение длится три часа. Тогда, если каждые десять минут от начала затмения мы будем производить по одному моментальному снимку /не меняя положения фотоаппарата/, то на нашем негативе получится развертка хода всего затмения в виде примерно двадцати изображений Луны или Солнца, находящихся в различных фазах затмения. Такая картина представлена на фото 16.

При постановке таких работ следует помнить следующее: во-первых, размер изображения Луны или Солнца на нега-



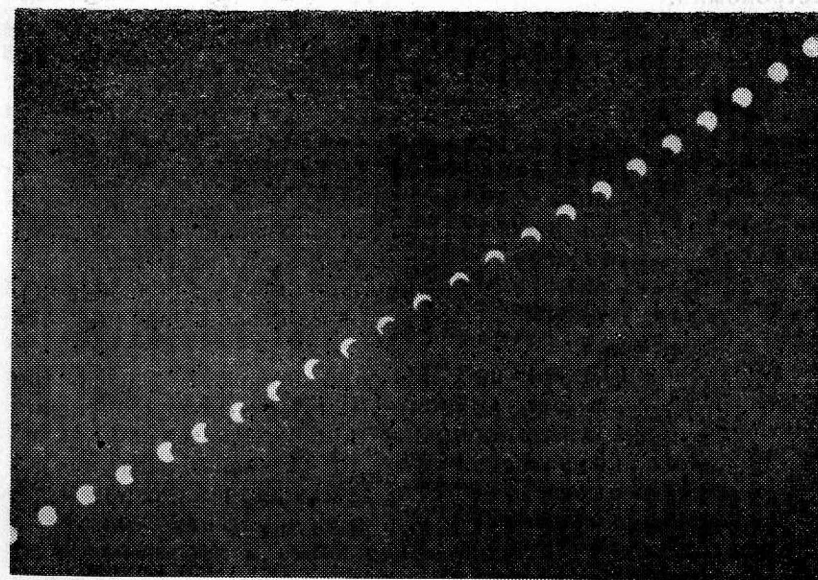


Фото 16. Фотография хода Солнечного затмения 1981 года. Фотоаппарат «Смена».

тиве зависит от фокусного расстояния объектива. Если d_α — видимый угловой диаметр Луны /d_α = 31′/, F — фокусное расстояние объектива, b — диаметр изображения в мм, то легко показать, что $b \approx 0{,}01F$.

При использовании наиболее распространенных объективов с F = 50 мм, диаметр изображения Луны будет всего 0,5 мм. Это, конечно, мало. Поэтому при получении таких «разверток» хода затмения желательно пользоваться фотоаппаратами типа «Любитель», «Москва», «Фотокор» и пр., которые имеют значительные поля зрения и более длиннофокусные объективы /75 мм, 110 мм, 135 мм соответственно/.

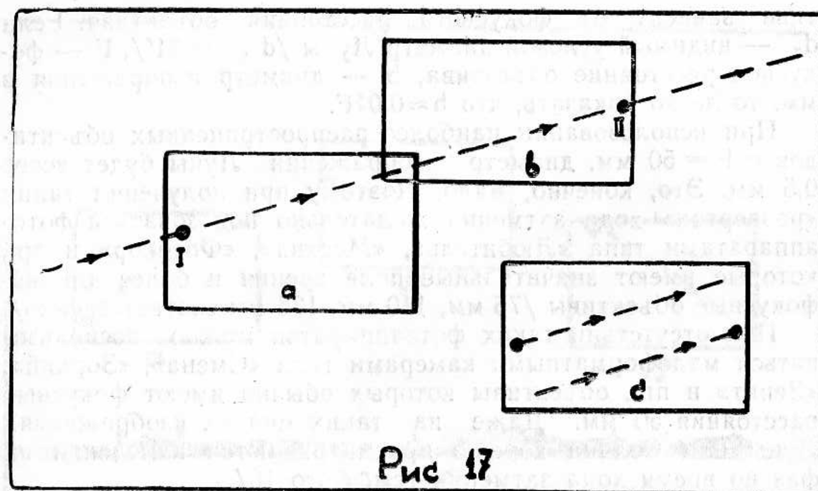
При отсутствии таких фотоаппаратов можно воспользоваться малоформатными камерами типа «Смена», «Зоркий», «Зенит» и пр., объективы которых обычно имеют фокусные расстояния 50 мм. Даже на таких мелких изображениях Луны или Солнца хорошо просматриваются изменения их фаз во время хода затмения /см. фото 16/.

При проведении подобных фотографических наблюдений необходимо отдавать предпочтение фотоаппаратам с центральным затвором. Именно центральный затвор позволяет на один кадр негатива получить серию последовательных фотографий.

В таких фотоаппаратах как ФЭД, «Зоркий», «Зенит» и т. п. взвод затвора совмещен с перемоткой пленки. Поэтому для того, чтобы иметь возможность фотографировать на один кадр несколько раз, фотоаппарат необходимо зарядить небольшим отрезком фотопленки, удалив перфорацию со стороны подающих зубчаток фотоаппарата. В таком случае при взведении затвора этих фотоаппаратов фотопленка будет оставаться на месте, и на один кадр можно сделать необходимое число снимков.

Особое внимание в этом случае необходимо обратить на жесткость установки фотоаппарата и аккуратность взведения затвора. Фотоаппарат во время всей съемки должен оставаться абсолютно неподвижным.

В том случае, если весь ход затмения не может быть получен на одном кадре, можно воспользоваться либо двумя фотоаппаратами, расположив их таким образом, чтобы поля зрения их немного перекрывались, либо одним, — если воспользоваться методом панорамирования. После того, как снимаемое светило прошло через поле видоискателя и было сделано необходимое число снимков, фотоаппарат перезаряжается и направляется на новый район. На новый кадр



снимается следующий этап хода затмения и т. д. Неудобство этого способа состоит в том, что необходимо достаточно оперативно перезаряжать фотоаппарат /что не всегда удается/, чтобы не потерять темпа съемок.

Впрочем, при известных навыках работы легко сфотографировать на один кадр два или даже три участка суточного пути светила. На рис. 17 представлен участок суточной параллели светила, точками I и II отмечены моменты начала и конца затмения. Буквами «а» и «в» обозначены два последовательные положения поля зрения фотоаппарата во время съемок на один тот же кадр. Результат такого фотографирования представлен на рисунке под буквой «с».

При фотографировании хода солнечных или лунных затмений желательно пользоваться пленками низкой чувствительности — Луна и тем более Солнце достаточно яркие светила. Наилучшие результаты получаются на диапозитивных пленках или пленках «Микрат». Однако вполне возможно использование стандартных фотопленок «Фото-32», «Фото-65» и т. д. Объектив фотоаппарата обязательно диафрагмируется до минимального рабочего отверстия. Это соответствует значению диафрагм 16 или 22 на соответствующей шкале объектива фотоаппарата. При таких условиях фотографирования хода лунного затмения продолжительность экспозиций должна быть порядка 1/10—1/60 сек. При этом получаются

изображения Луны оптимальной плотности, с которых можно делать удовлетворительные по качеству отпечатки достаточно большого формата. Опыт показывает также, что при значительных фазах затмения /больших, примерно, 0,9/ необходимо некоторое увеличение рабочего отверстия объектива — примерно на одно деление диафрагмы.

Несколько сложнее получить хорошие фотографии хода солнечного затмения. Известно, что объективы большинства фотоаппаратов нельзя направлять на Солнце — могут сгореть шторки затвора фотоаппарата. Исключение составляют объективы со встроенным — центральным затвором. Поэтому при фотографировании хода солнечного затмения необходимо использовать плотные /лучше всего нейтральные/ светофильтры, которые устанавливаются перед объективом фотоаппарата. Для этих целей хорошо подходят защитные светофильтры от щитков электросварщиков. Тогда при использовании фотопленок средней чувствительности для получения изображения Солнца оптимальной плотности необходимы экспозиции порядка десятых долей секунды.

Необходимо отметить, что такие рекомендации носят весьма приблизительный характер. Совершенно необходимо отработать методику фотографирования Луны и Солнца с целью определения условий фотографирования для получения качественных негативов. Это можно сделать на незатмевающихся светилах за несколько дней до затмения. Причем такие эксперименты необходимо ставить до тех пор, пока не будут получены негативы удовлетворительного качества.

Опыт показывает, что за день—два до начала затмения желательно провести полностью программу фотографирования хода «затмения» на незатмевающихся светилах[1]. Причем начинать и кончать съемку необходимо примерно в те же моменты, когда затмение начинается и заканчивается. При хорошей подготовительной работе, при отработанной методике съемки /что само по себе может быть предметом небольшого ученического экспериментального исследования/ в распоряжении учителя астрономии окажутся фотографии, которые с достоинством украсят стены школьного кабинета физики и астрономии.

Если в распоряжении учителя астрономии имеются длинно-фокусные объективы /МТО-1000, МТО-500, Таир-300 и т. п./, с их помощью могут быть получены хорошие по ка-

---

[1] См. стр. 24—25 данного пособия.

честву снимки отдельных фаз затмения. Хотя методика получения таких фотографий достаточно проста, необходимо обратить внимание на следующие моменты.

Во-первых, желательно использовать зеркальные камеры типа «Зенит» — это позволяет легко контролировать положение изображения в кадре и его резкость.

Во-вторых, фотоаппарат, снабженный телеобъективом, должен быть надежно установлен на фото-или кино-штативе, конструкции которых легко позволяют направлять фотоаппарат в любой район съемок. Несмотря на то, что экспозиции при фотографировании Луны и Солнца малы, необходимо пользоваться тросиком. Опыт показывает, что при работе с длиннофокусным объективом даже на «малых» экспозициях легко «смазать» кадр, если спусковая кнопка нажимается пальцем /и особенно при работе с рук, а не со штатива/.

В-третьих, при фотографировании Солнца необходимо обязательно установить перед объективом плотный /желательно нейтральный/ светофильтр, а объектив задиафрагмировать встроенной /Таир/ или самодельной /МТО/ диафрагмой. Диафрагмирование объективов необходимо осуществлять и во время съемок Луны.

Плотность светофильтра, длительность экспозиции, величина диафрагмирования обязательно уточняются на пробных предварительных фотографиях Луны и Солнца.

Если в распоряжении учителя отсутствуют стандартные длиннофокусные объективы, то в их качестве можно использовать объективы школьных телескопов-рефракторов и школьного телескопа Максутова. Для этого в школьных мастерских необходимо выточить простое переходное кольцо, с помощью которого корпус фотоаппарата /без объектива/ крепится на выдвижной тубус /школьного рефрактора/ вместо окуляра телескопа. В этом случае также желательно пользоваться зеркальными камерами типа «Зенит», а методика проведения фотографических наблюдений с такими «объективами» тождественна вышеописанной.

Еще проще купить в магазине фототоваров комплект удлинительных колец для фотоаппаратов «Зенит». В школьной мастерской на токарном станке уменьшить наружный диаметр самого большого /r=28 мм/ кольцо на 0,4—0,5 мм, Дело в том, что если у тубуса крепления окуляра школьного телескопа выкрутить 3 винта и отделить тубус от выдвижной кремальеры, то на его место можно вставить наше удлинительное кольцо и зажать его винтом крепления зубчатой подающей планки. На второй конец кольца накручивается фотоаппарат типа «Зенит».

Хорошие снимки отдельных фаз затмения можно получить даже в том случае, если фотографирование производить с помощью незеркальной фотокамеры /«Смена», «Зоркий», «ФЭД» и т. п./. В этом случае подготовка к проведению фотографических наблюдений Солнца и Луны будет происходить следующим образом:

во-первых, необходимо изготовить переходное кольцо для крепления корпуса фотоаппарата на место окуляра телескопа /если в качестве длиннофокусного объектива используется объектив школьного телескопа/. Иногда аналогичный переходник необходим и при использовании стандартных длиннофокусных объективов, если система его крепления отличается от принятой на данном корпусе.

Во-вторых, необходимо изготовить простейший видоискатель — тонкую трубку, укрепленную параллельно оптической оси телескопа или телеобъектива. Поле зрения такого искателя должно быть не больше поля зрения нашего телеобъектива, работающего на фотопленку известного формата. Например, в качестве телеобъектива мы используем объектив школьного 80-мм рефрактора. В фотоаппарате используется фотопленка с размером кадра 24 мм х 36 мм. Диаметр поля зрения / α / такого «астрографа» по малой стороне кадра /b/ будет равен

$$\alpha = \text{arc tg}\,\frac{b}{F} = \text{arc tg}\,\frac{24}{800} \approx 1^\circ{,}7$$

где F=800 мм — фокусное расстояние объектива рефрактора. Легко показать, что для получения такого поля зрения нашего «искателя» отношение его длины (b) к внутреннему диаметру /d/ должно быть равным 33 : 1.

Данные, необходимые для расчета этих величин, а также некоторые характеристики наиболее широко распространенных телеобъективов приведены в таблице 5.

Параллельность оптических осей искателя и астрографа легко проверить, если получить изображение Солнца /не забывайте про диафрагмирование и светофильтр объектива/ на полоске матовой бумаги, укрепленной на месте фотопленки, при открытой задней крышке и затворе фотоаппарата. При этом Солнце должно быть видимо и сквозь наш искатель. При проверке этого не забывайте, что смотреть на Солнце невооруженным глазом нельзя!

Таблица 5

Объектив	F мм	A	Отношение b:d самодельного искателя	Поле зрения по стороне кадра (24 мм), град.	Диаметр изображения Солнца (Луны) мм
МТО-1000	1000	1:10	40:1	1,4	9,3
МТО-500	500	1:8	25:1	2,7	4,6
Таир-300	300	1:4,5	14:1	4,6	2,8
Ю-36 Б	250	1:3,5	12:1	5,5	2,3
Объектив 80-мм рефракт.	800	1:10	33:1	1,7	7,5
Объектив 60-мм рефракт.	600	1:10	25:1	2,3	5,6

В третьих, необходимо отъюстировать астрограф на бесконечность, т. е. найти такое положение кремальеры телескопа /а значит и корпуса фотоаппарата/, при котором изображение бесконечно удаленных предметов будут резкими. Грубо это можно сделать по наблюдениям за качеством изображения удаленных предметов на матовом стекле /матовая сторона д. б. обращена к объективу!/, установленном вместо пленки, при открытой задней крышке и затворе фотоаппарата. Более точно такое юстирование осуществляется при пробных фотографических наблюдениях яркой звезды. Пусть корпус незеркального фотоаппарата укреплен на выдвижном тубусе школьного 80-мм рефрактора. Зарядим фотоаппарат отрезком фотопленки /на 10—12 кадров/, закроем объектив астрографа крышкой /плотно!/, откроем затвор фотоаппарата и оставим его в открытом состоянии. Используя наш самодельный искатель, поймаем в центр поля зрения какую-либо яркую звезду, лежащую, по возможности, не очень далеко от экватора. Поле зрения нашего астрографа по большой стороне кадра /36 мм/ около 2,5 градусов. При неподвижном телескопе звезда будет двигаться в кадре /если основание кадра параллельно суточной параллели звезды/ около 10 минут. Значит, за 2—3-минутную экспозицию мы получим на негативе достаточно «длинный» трек звезды. Следует помнить, что монтировка школьного телескопа недостаточно жестка, поэтому снятие крышки телескопа в начале экспозиции производится очень осторожно, и последняя несколько секунд удерживается перед объективом, пока не затухнут все колебания в системе крепления и установки телескопа.

Кроме того на выдвижной тубус телескопа необходимо наклеить полоску миллиметровой бумаги или придумать другой способ, с помощью которого можно будет отмечать положение выдвижного тубуса при каждом фотографировании. Тогда, сделав серию фотографий какой-либо звезды при различных положениях выдвижного тубуса, отличающихся на 1 мм, вблизи ожидаемого положения наилучшей фокусировки, можно по наиболее резкому треку звезды определить положение наилучшего фокуса. При этом следует помнить, что оценивать качество изображения трека следует с помощью сильной лупы. Кроме того, может оказаться, что выбранная звезда оказалась неудачной — полученные треки оказались либо слишком плотными, разросшимися вширь, либо, наоборот, очень слабыми, еле видимыми. И в том, и в другом случае наблюдения следует повторить на более слабой или более яркой /или более медленно двигающейся, т. е. с большим склонением/звезде. Отметим, что наиболее уверенные оценки качества трека можно сделать на треках средней плотности.

Более точного определения положения наилучшей фокусировки /в астрономической литературе это рекомендуется делать с точностью не хуже 0,1 мм/ можно добиться, если провести серию аналогичных фотографических наблюдений при неподвижном тубусе, выкручивая или вкручивая объектив телескопа. Шаг резьбы на оправе объектива школьного телескопа — 1 мм. Значит, если мы при каждом последующем фотографировании трека звезды будем выкручивать /или вкручивать/ объектив, например, на 30°, отмечая эти положения рисками на трубе и оправе объектива, мы сможем найти положение наилучшей фокусировки с ошибкой не больше 0,15 мм. При этом не забудьте побеспокоиться о системе фиксирования выкрученного объектива.[1]

[1] Такие определения «фокуса» желательно проводить и в том случае, если используется зеркальный фотоаппарат.

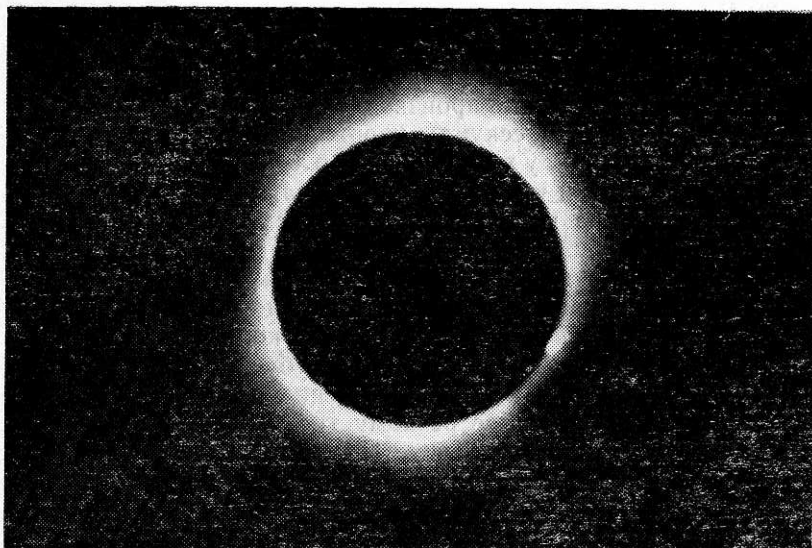


Фото 18. Фотография солнечной короны. Объектив МТО-1000. Фото А. В. Артемьева.

Фотографические наблюдения Солнца и Луны в дальнейшем следует проводить при найденном положении фокуса.

Подобная подготовительная работа по подготовке к проведению фотографических наблюдений длиннофокусными объективами может явиться темой хорошего самостоятельного исследования одного или нескольких школьников.

Если предстоящее солнечное затмение будет полным, представляет безусловный интерес с помощью таких «астрографов» получить снимки солнечной короны. При этом не следует стремиться к очень длинным экспозициям. На пленках средней чувствительности солнечная корона получается при экспозиции порядка нескольких десятых долей секунды /без светофильтра и при полностью открытом объективе/. Можно показать, что при F=800 мм изображение короны не будет размазываться вследствие суточного вращения сферы /допустимое смещение изображения — 0,03 мм / не более чем за полусекундные экспозиции. Для более короткофокусного астрографа допустимы более длительные экспозиции, однако опыт показывает, что экспозиции длиннее 0,5 секун-

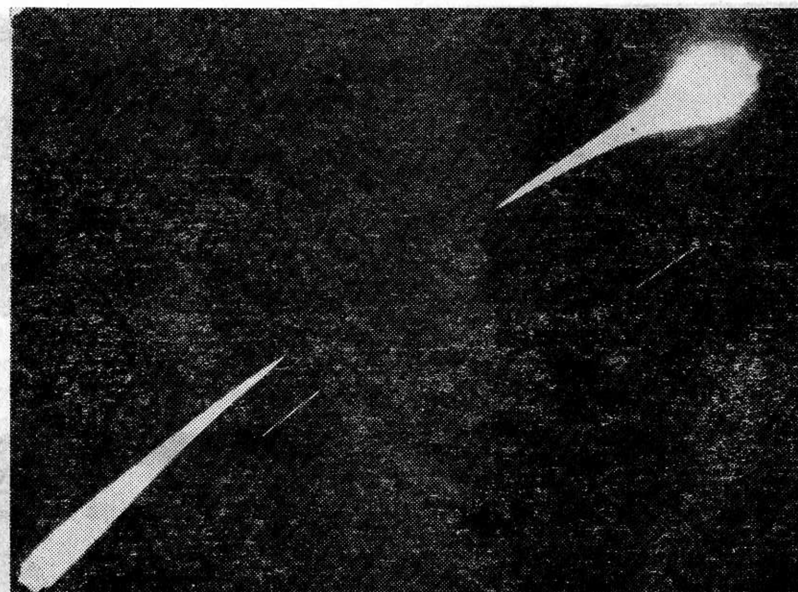


Фото 19.

ды вряд ли следует применять /см. фото 18/. Обработку таких снимков интересно произвести методом эквиденситометрии[1].

Можно предложить проведение и других фотографических наблюдений во время солнечных и лунных затмений /см. фото 19, 20 и 21/. Предоставляем читателю возможность самому догадаться, что и каким образом сфотографировано на фото 19, и каким образом удалось «сфотографировать» земную тень во время лунного затмения на фотографиях 20 и 21.

[1] См. об этом подробнее в книгах: В. В. Шевченко. Луна и ее наблюдение, М., Наука, 1983; В. А. Бронштэн. Серебристые облака и их наблюдение. М., Наука, 1984.

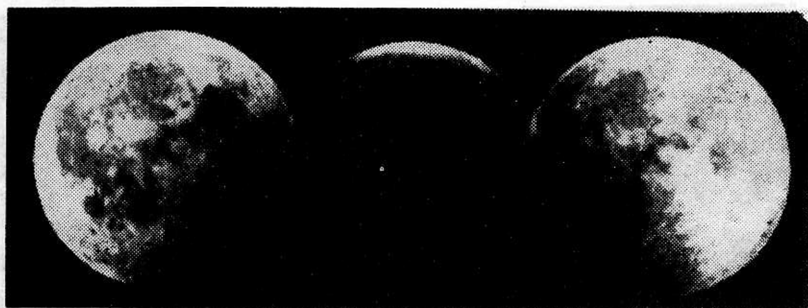


Фото 20.

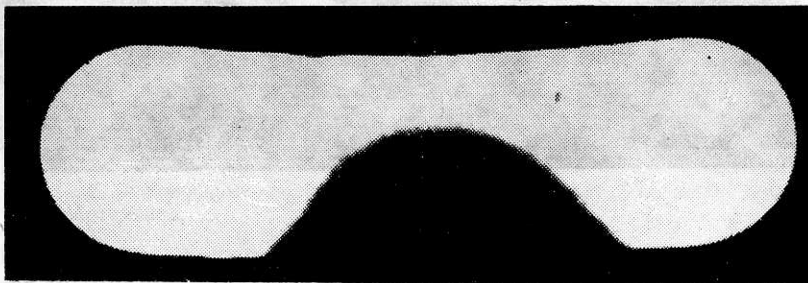


Фото 21.

§ 5. ВЫБОР, ОБРАБОТКА И ХРАНЕНИЕ НЕГАТИВОВ В МАЛОФОРМАТНОЙ АСТРОФОТОГРАФИИ

Весьма серьезной проблемой, с которой с самого начала сталкивается любитель астрофотографии, является проблема поиска фотопленок высокой чувствительности. В связи с этим полезно знать, что далеко не всегда следует стремиться к использованию высокочувствительных фотоматериалов. Не говоря о съемках Солнца, Луны и их суточных путей /когда необходимы материалы низкой чувствительности/, отметим, что нет смысла стремиться к использованию фотопленок наивысшей чувствительности во всех случаях, когда продолжительности экспозиций приближаются к предельным для данного объектива. В описанных нами случаях это работы по получению снимков звездных полей гидируемыми

фотоаппаратами, суточных путей звезд стационарными фотоаппаратами. Единственный круг работ по астрофотографии, где мы должны стремиться использовать фотоматериалы максимально высокой чувствительности — это работы, связанные с фотографированием звездных полей стационарными фотоаппаратами, когда продолжительности экспозиций не более нескольких десятков секунд, т. е. гораздо меньше предельной.

Как мы уже отмечали, продолжительности предельных экспозиций для малоформатных фотоаппаратов малы — редко в реальных условиях превышают 10—15 минут. А если мы будем работать при предельных экспозициях, мы будем получать практически одинаковые результаты для фотопленок различной чувствительности. Для пленок высокой чувствительности продолжительность предельной экспозиции меньше. Поэтому, практически, «проницающие способности» таких наблюдений будут одинаковы. Просто в случае использования менее чувствительных пленок мы будем делать более продолжительные экспозиции.

Кроме того, как мы уже указывали на стр. 38—39 данного пособия, серийные любительские фотопленки «Фото-32», «Фото-65» и «Фото-130» и т. д. кардинальным образом отличаются от специальных астрономических пленок и пластинок тем, что они предназначены для работы на моментальных экспозициях. При длительных /более 1 мин./ экспозициях у них происходит резкое падение чувствительности до нескольких единиц ГОСТа.

Учащимся полезно знать, что в астрономии довольно редко используют фотопластинки очень высоких чувствительностей /до нескольких тысяч единиц ГОСТа/. Обычно такие эмульсии используются только в специальных исследованиях /например, в спутниковых камерах, где снимают быстропродвигающиеся объекты — ИСЗ — с малыми экспозициями/. Во время фотографических наблюдений по стандартным программам, как правило, используются пластинки чувствительностью от нескольких десятков до нескольких сотен единиц ГОСТа. Правда, эти эмульсии в отличие от любительских не обладают способностью столь быстро «насыщаться». Они предназначены для работы на длительных экспозициях. Поэтому /за время экспозиции меньше предельного для данного объектива и данной пленки/ на астрономических пластинках мы получим изображения более слабых звезд, чем

если бы мы фотографировали на серийную любительскую фотопленку той же чувствительности.

Полезно знать, что существуют достаточно простые методы повышения светочувствительности, самые простые из которых будут описаны несколько ниже.

Использование фотопленок наивысшей чувствительности /или максимальное поднятие ее/ при съемках гидируемым малоформатным астрографом оправдано только в том случае, если гидирующее устройство не может обеспечить точное гидирование в течение предельных экспозиций, и мы вынуждены работать на более коротких выдержках. Опыт показывает, что в распоряжении любителя астрофотографии чаще всего будут серийные фотопленки объединений «Свема» и «Тасма» серии «Фото» различных чувствительностей. Кроме этих пленок, мы будем говорить о фотопленках А-2 и КН-2, на которых работают профессиональные кино- и фоторепортеры, и которые смогут оказаться в распоряжении любителя астрофотографии.

В большинстве случаев размеры фотографических изображений объективов малоформатной астрофотографии малы. Поэтому все мельчайшие дефекты на фотопленке, которые появились в процессе работы с ней и которые в обычной фотографии можно исправить специальными приемами /ретушь и пр./, в астрофотографии чаще всего неисправны и приводят к весьма нежелательным последствиям, особенно при получении отпечатков значительного формата. Мельчайшие пылинки, следы плохой промывки, отпечатки пальцев, царапины от неправильного хранения и т. п. — все это при печати может свести всю предыдущую работу на нет.

Кроме того, не нужно забывать, что если фотолюбитель может часто сделать повторный снимок испорченного кадра, то в астрофотографии такая возможность представляется далеко не всегда.

Поэтому требования к обработке и хранению астронегативов должны выполняться самым неукоснительным образом.

Во время всего процесса работы с фотопленкой пальцы не должны ни разу коснуться поверхности фотопленки. Ее можно удерживать только за края. Труднее всего это требование выполнить во время намотки фотопленки на катушку при зарядке кассеты. К тому же при намотке фотопленок на катушку у неопытного фотолюбителя почти всегда появляются мельчайшие продольные царапины. Можно рекомендовать отказаться от наматывания фотопленок на катушку вообще. В астрофотографии не приходится делать по многу снимков за один сеанс наблюдений. Поэтому в фотоаппарат можно заряжать небольшой отрезок фотопленки. Примерно в 50% случаев рекомендованных работ фотоаппарат придется заряжать отрезком фотопленки на один кадр. В действительности всегда берется несколько больший отрезок фотонегатива — 3—4 кадра — для того, чтобы иметь возможность заряжать фотопленку в фотобачок и иметь место для подписи на астронегативе.

Если серия наблюдений не очень продолжительна, отмотайте в темноте от рулончика заводской упаковки несколько витков и отрежьте их, не разматывая остальной части, вставьте их в кассету без катушки и такой кассетой зарядите фотоаппарат. Кроме того, для уменьшения числа микроцарапин, внутреннюю поверхность кассеты рекомендуется оклеить мягким материалом. При такой зарядке мы будем лишены возможности после окончания съемок осуществить обратную перемотку фотопленки. Но это не страшно. Фотоаппарат можно разрядить в темноте, тем более, что в случае обратной перемотки возникают дополнительные микроцарапины.

Проявляющий, останавливающий и закрепляющий растворы готовятся в тщательно вымытой посуде, на дистиллированной воде. В крайнем случае можно воспользоваться кипяченой водой, отстоявшейся не менее суток. Все растворы обязательно фильтруются.

Промежуточную промывку целесообразно заменить обработкой в останавливающем растворе, что дает весьма положительные результаты. Для этого после проявления в фотобачок заливается 2% раствор ледяной уксусной кислоты или 4% раствор метабисульфита калия. Время обработки — 20—30 сек. После чего сразу же заливают фиксаж, желательно кислый.

Особое внимание следует уделить заключительной промывке, ибо от ее качества зависит чистота и сохранность негатива. Ее следует проводить в проточной воде с температурой 18—20 градусов не менее 15—20 мин. Во время промывания воду из водопроводного крана желательно пропускать через несколько слоев марли или плотной чулочной ткани, задерживающей мелкие частицы грязи.

При использовании жесткой воды, имеющей в своем составе соли кальция и магния, в эмульсионном слое негативов

5 Заказ 4188

после промывания может образоваться белесый налет, так называемая кальциевая сетка. Этот дефект можно устранить путем обработки негатива 5% раствором уксусной или соляной кислоты. Негативы за несколько минут до окончания промывания обрабатывают в этом растворе в течение 5—6 секунд, после чего заканчивают промывание. После промывания фотопленку желательно ополоснуть один—два раза в дистиллированной воде.

Фотолюбители знают, что на обратной стороне подложки фотопленок после сушки остаются белесоватые круглые пятна — следы высыхания капель воды, образовавшихся из-за неравномерной смачиваемости основы фотопленки. Кроме того неравномерное высыхание /более быстрое у перфорации/ приводит к скручиванию пленок. Для предупреждения этих нежелательных явлений негатив после заключительного промывания /перед сушкой/ рекомендуется обработать в растворе Поверхностно Активного Вещества — ПАВ, — любого стирального средства. Можно воспользоваться жидкими средствами, которые не дают взвесей и осадков, и их растворы можно не фильтровать. Годятся и стиральные порошки, чайную ложку которых растворяют в 500 мл. дистиллированной воды и фильтруют. Концентрация ПАВ должна быть такова, чтобы при взбалтывании раствора стеклянной палочкой не образовалось бы шапки сплошной пены. Время обработки негативов в растворе ПАВ 15—20 сек. После этого негативы сушат в теплом беспылевом помещении вдали от нагревательных приборов.

Как мы уже отмечали ранее, большинство получаемых в астрофотографии негативов не являются полутоновыми. Это значит, что можно, во-первых, получать отпечатки существенного размера с таких негативов и, во-вторых, использовать методы искусственного повышения чувствительности фотопленок, при которых сильно растет зернистость изображения на негативе.

Искусственное повышение светочувствительности[1] фотопленок можно осуществлять различными способами. Лучше всего это делать в процессе проявления негативов. Но сначала несколько замечаний общего характера, которые необходимо выполнять, если есть потребность увеличить светочувствительность фотопленки.

[1] Такая терминология не совсем точна, но она широко используется в специальной литературе.

1. Необходимо пользоваться фотопленкой с максимальной номинальной чувствительностью. Чувствительность таких фотопленок, как «Фото-250» /250 ед. ГОСТа/ можно поднять до гораздо более высоких значений, чем пленок «Фото-65» /65 ед. ГОСТа/.
2. Необходимо работать в этом случае свежими растворами и свежими фотопленками. Растворы готовить только на дистиллированной воде.
3. Время между проявлением пленки и экспонированием должно быть минимальным /не более 1—2 суток/.
4. В течение всего проявления необходимо выдерживать температуру проявления, а спираль с пленкой необходимо постоянно вращать с медленной скоростью.

Повысить светочувствительность серийных фотопленок «Фото» в несколько раз можно без всяких хитростей, если увеличить время их проявления. Мы доводили время проявления до 30—40 минут. В таблице 6 дана зависимость чувствительности таких пленок от времени проявления в широко распространенных таблеточных проявителях ВК и УПК-1[1].

Таблица 6

Тип фотопленки	Чувствительность (ед. ГОСТ) при обработке в проявителях ВК и УПК—1		
	10 мин	12 мин	20 мин
Фото-32	38	41	100
Фото-65	81	100	240
Фото-130	150	200	600
Фото-250	320	450	1300
А-2 /180 ед./	240	400	1000

Большего увеличения чувствительности таких фотопленок можно добиться, используя проявители специального состава, например:

Сульфит натрия безводный — 100 г.
Гидрохинон — 5 г.
Бура кристаллическая — 3 г.
Борная кислота — 3,5 г.

[1] Данные авторов этих проявителей.

Бромистый калий — 1 г.
Фенидон — 0,2 г.
Вода — до 1 л.

Температура проявления 20°С. При времени проявления 35—40 минут удается повысить чувствительность пленки в 10—12 раз.

Иногда в распоряжении фотолюбителей появляются профессиональные фотопленки А-2 /180 ед. ГОСТа/ и КН-2 /350 ед. ГОСТа/. Чувствительность этих пленок без особого труда можно тоже поднять в 10—12 раз. Фотопленку А-2 целесообразно проявлять в проявителе вышеприведенного состава. Для пленок КН-2 можно рекомендовать следующий состав проявителя:

Сульфит натрия безводный — 50 г.
Гидрохинон — 3,5 г.
Бура кристаллическая — 3,5 г.
Борная кислота — 1,8 г.
Калий бромистый — 0,5 г.
Фенидон — 0,15 г.
Бензотриазол — 0,04 г.
Вода — до 1 л.

Время проявления 30—35 минут, температура проявления 23° /!/. Следует отметить, что в специальной литературе описано чрезвычайно много различных способов повышения светочувствительности фотоматериалов, большинство из них не опробованы в любительских условиях. Возможности экспериментирования в этом направлении очень велики.

Очень серьезно нужно относиться к хранению астронегативов. Серии съемок производите всегда таким образом, чтобы каждый второй кадр оставался свободным, с тем, чтобы после проявления и сушки такой пленки ее разрезали на отдельные фрагменты по два кадра в каждом. На одном из них — снимок, на втором данные о нем. Перьевой ручкой, чернилами на эмульсионной стороне должны быть записаны следующие данные: время и дата съемок, объект или район съемок, объектив, тип фотопленки. При желании можно отметить и некоторые другие данные /наблюдатель, состояние неба и пр./. Такие малоформатные негативы следует хранить в самодельных конвертах, сваренных из полиэтиленовой пленки. Их размеры около 40x100 мм. При таком способе хранения негативы можно рассматривать, не доставая из конвертов. Хранить негативы нужно в темном, желательно прохладном месте.

§ 6. ПРОГРАММА ЗАНЯТИЙ И СПИСОК ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Проведение теоретических и практических занятий по астрофотографии может быть осуществлено на занятиях школьного астрономического кружка, либо в рамках школьного факультатива. Ниже приводится программа теоретической части[1] цикла таких занятий и рекомендуется список практических работ по школьной астрофотографии:

История развития астрофотографии. Астрофотография и ее место среди других методов современной астрономии. Преимущества и недостатки астрофотографии.

Астрографы. Основные характеристики объективов астрографов: светосила, масштаб изображения, разрешающая способность. Предельная экспозиция и предельная звездная величина в астрофотографии.

Преимущества и недостатки использования любительских фотокамер в роли астрографов. Характеристики основных типов объективов, используемых в астрофотографии.

Негидируемые астрографы и методика работы с ними. Предельные экспозиции для получения точечных изображений звезд при фотографировании на различных склонениях. Возможности использования негидируемых фотокамер для выявления картин видимых движений светил /звезд, Солнца, планет, Луны, метеоров, ИСЗ и т. д./.

Гидирование фотографических камер. Простейшие конструкции гидов. Преимущества и возможности гидируемых фотокамер.

Фотопластинка как приемник излучения. Основные характеристики фотоэмульсий: чувствительность, разрешающая способность, спектральная чувствительность, зернистость. Особенности «астрономических» эмульсий. Зависимость плотности и размеров изображений небесных светил от продолжительности экспозиции и блеска светила. Возможности и особенности использования любительскких серийных фотоматериалов для фотографирования небесных светил.

Повышение чувствительности фотоматериалов. Методика и особенности приготовления растворов для обработки астронегативов. Особенности обработки /проявление, промывание, фиксирование, сушка/ малоформатных астронегативов. Хранение астронегативов.

Особенности фотографирования Луны, Солнца, солнечных и лунных затмений.

[1] Основное внимание в этой работе, на наш взгляд, нужно уделять практическим заданиям.

Список рекомендуемых практических работ.
Негидируемые фотоаппараты

1. Определение продолжительности предельной экспозиции для получения точечных изображений звезд в районах с различными склонениями для разных объективов.
2. Определение продолжительности предельной экспозиции для получения заметного вуалирования негатива при различных условиях фотографирования и обработки негативов /фон небосвода, тип фотопленки, объектив и значение диафрагмы, режим обработки и т. д./.
3. Определение величин рабочих полей различных объективов, задиафрагмированных до разных диафрагм.
4. Определение проницающей способности негидируемых малоформатных астрографов при работе с экспозициями, длительности которых определены в первой работе.
5. Предыдущую работу выполнить для пленок различной чувствительности; исследовать влияние чувствительности серийных фотопленок на проницающую способность малоформатного астрографа.
6. Исследовать эффективность различных методов искусственного поднятия чувствительности пленки для увеличения «проницающей способности» негидируемого астрографа.
7. Получение снимков отдельных созвездий с максимальной «проницающей способностью» на основании результатов вышеперечисленных работ.
8. Создание атласа околополярных созвездий.
9. Отработка методики фотографирования /подбор светофильтра, пленки, значения диафрагмы и т. д./ для получения на негативе следа суточного пути Солнца оптимальной плотности.
10. Получение фотографии суточного пути Солнца в восточной или западной частях небосвода на фоне фотографии пейзажа на горизонте в данном месте.
11. Получение снимков суточных путей восходящего или заходящего Солнца с однажды установленного фотоаппарата с интервалом 3—4 суток.
12. Отработка методики фотографирования Солнца /подбор светофильтра, значения диафрагмы, чувствительности пленки, продолжительности экспозиции и т.д./

для получения моментальных фотографических изображений Солнца оптимальной плотности.
13. Получение серии моментальных снимков восходящего или заходящего Солнца на одном негативе одновременно с фотографией пейзажа данной местности.
14. Получение двух серий фотографических изображений восходящего или заходящего Солнца на одинаковых углах одновременно с фотографией пейзажа данной местности с интервалом 3—4 суток с однажды установленного фотоаппарата.
15. Отработка методики фотографирования суточных путей звезд в разных районах небосвода /определение значения диафрагмы для получения фотографий суточных путей звезд заданной длительности — 1^h, 2^h, 3^h, 4 часа.
16. Получение серии снимков суточных движений звезд в околополярной области в течение различных /1^h, 2^h, 3^h, 4^h/, промежутков времени, в том числе снимков с перерывами в экспонировании для выявления направления суточных движений.
17. Получение снимков суточных путей звезд в восточной, западной, южной и северной частях небосвода за различное время экспонирования /1^h, 2^h, 3^h, 4^h /.
18. Получение нескольких снимков яркой переменной звезды /δ Цефея, β Персея/ в различных фазах блеска.

II. Гидируемые фотоаппараты

19. Создание простейшего гида для малоформатного астрографа.
20. Исследование допустимых ошибок установки его по широте и азимуту.
21. Юстировка величины скорости гидирования.
22. Юстировка установки прибора по азимуту.
23. Юстировка установки прибора по широте.
24. Определение максимальной продолжительности работы созданного гидирующего устройства при работе с малоформатными камерами, имеющими объективы с различными фокусными расстояниями.
25. Получение фотографий отдельных созвездий.
26. Создание школьного фотографического атласа северного неба.

27. Определение проницающей способности малоформатного астрографа при работе с различными объективами.
28. Определение разрешающей способности малоформатного астрографа по наблюдениям физических пар.
29. Получение отдельных снимков переменных звезд в различных фазах их блеска.
30. Получение серии снимков различных положений одной планеты на фоне звездного неба в различные моменты времени.
31. Получение серии снимков малой планеты на фоне звездного неба в различные моменты времени.
32. Получение фотографий некоторых объектов звездного неба — Галактики Андромеды М 31, шарового скопления в Геркулесе М13, газо-пылевого комплекса в Орионе М42, рассеянных звездных скоплений Плеяды и Ясли и т. д. объективами с различными фокусными расстояниями.
33. Получение фотографий видимых путей ярких ИСЗ.
34. Получение фотографий следов ярких метеоров.

III. Работы с астрографом на базе школьного 80-мм рефрактора

35. Разработка и изготовление системы крепления корпуса фотоаппарата и искателя к школьному телескопу.
36. Проведение серии пробных фотографических наблюдений яркой звезды с целью определения положения наилучшей фокусировки.
37. Отработка методики фотографических наблюдений /светофильтр, пленка, экспозиция и т. п./ Луны.
38. Отработка методики фотографических наблюдений /светофильтр, пленка, экспозиция, диафрагма и т. д./ Солнца.
39. Вышеперечисленные работы можно выполнить с афокальной приставкой или окулярным увеличением.

§ 7. НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ШКОЛЬНОЙ АСТРОФОТОГРАФИИ

Как мы показывали, возможности малоформатной фотографии в средней школе, связанные с привлечением школьников к практическим работам по астрономии, достаточно

широки. И все же приводимый в конце данного пособия список рекомендуемых практических работ и упоминаемые в тексте направления исследований являются еще далеко неисчерпанными.

Учителя астрономии и методисты могут предложить много интересных работ и тем для исследований в этом направлении. Приведем несколько интересных, на наш взгляд, возможных направлений работ в этом плане.

Можно рекомендовать получать снимки звездных полей, Луны, Солнца, частных и полных фаз солнечного и, что особенно интересно, лунного затмений на цветные пленки. Известно чрезвычайно мало таких фотографий.

Заинтересовавшимся фотографическими наблюдениями Луны и Солнца с помощью длиннофокусных объективов можно посоветовать создать установки, позволяющие получать на негативе более крупные изображения солнечного и лунного дисков, или даже отдельных участков поверхности Луны или Солнца. Обычно рекомендуется использовать окулярное увеличение /в роли окуляра выступает оставленный объектив фотоаппарата/. Очень заманчиво эту же проблему решить другим путем — с помощью широко известной кино- и фотолюбителям афокальной приставки. Как известно, афокальная приставка в простейшем случае представляет из себя систему двух линз, фокусы которых совпадают. Она изменяет масштаб изображения во столько раз, во сколько фокусное расстояние одной линзы больше другой. Афокальная приставка устанавливается перед фотоаппаратом, причем в конструкцию последнего не вносится никаких изменений. Даже строгого совпадения оптических осей приставки и объектива фотоаппарата можно не добиваться. Идея тем более заманчива, что в магазинах фототоваров имеются в продаже афокальные приставки, дающие увеличение в несколько раз и предназначенные для кинокамер.

Можно попытаться, используя «длиннофокусные астрографы», получить стереоснимки Луны и Солнца. Это можно сделать, опираясь на либрацию Луны и быстрое вращение Солнца вокруг оси /ясно, что в случае Солнца нужны мощные группы пятен/.

Интересно попытаться получить стереоснимки /с искусственного неба/ отдельных созвездий, на которых «виделось» бы пространственное расположение звезд в данном созвездии. Тема использования стереоснимков и с т е р е о р и с у н к о в в астрономии — это направление большого и ин-

тересного методического исследования, где, безусловно, можно получить замечательные результаты.

После того, как «решена» проблема получения в условиях средней школы достаточно качественных снимков звездного неба /с помощью гидируемых малоформатных камер/, большим, интересным и полезным направлением методических исследований может стать разработка цикла работ /скажем в рамках школьного факультатива/, посвященных знакомству школьника с методами обработки астронегативов. Я имею в виду, например, исследование возможностей фотометрии по диаметрам изображений звезд на увеличенных отпечатках. Можно попытаться создать на базе оборудования школьного кабинета физики простейший «проективный» микрофотометр, измеряя ток в цепи с фотосопротивлением, перемещаемым по экрану, на который проектируется снимок небосвода.

Интересно попытаться исследовать возможность фотометрии по плотности /внефокальные изображения звезд/ аналогичной схемой. В литературе описываются простейшие самодельные микрофотометры, создание которых вполне возможно в рамках школьного астрономического кружка.

Интересным также является создание работы, посвященной знакомству школьника с методами определения координат объектов по опорным звездам на увеличенном отпечатке с негатива, тем более, что аберрации объективов обычно велики. Понятно, что создание такой работы измерительного характера, иллюстрирующей сущность метода и имеющей удовлетворительную для наших целей точность, вполне возможно. Следует только помнить, что при разработке этой и других работ, связанных с измерениями на негативах, их цель не столько хорошая точность получаемых результатов, сколько хорошее иллюстрирование сущности данного метода.

Очень интересным, на наш взгляд, является исследование возможностей получения фотографий спектров ярких звезд при помощи призм с малыми углами преломления /10°—15°/, установленных перед объективами малоформатных камер. Насколько нам известно, такими исследованиями никто из методистов или учителей не занимался, а расчеты показывают, что надежда на получение фотографий спектров ярких звезд вполне оправдана. Главная трудность в этом направлении — отсутствие крупных призм с такими небольшими углами преломления.

Следующим этапом работы после освоения малоформатных астрографов может стать создание и «эксплуатирование» короткофокусного астрографа на базе объективов павильонных фотокамер /И-17, И-37 и т. п./, которые достаточно часто бывают в продаже в магазинах фототоваров. Опыт нашей работы показывает, что для гидирования таких астрографов можно вполне использовать предлагавшийся выше простейший гид для школьного астрографа, если очень аккуратно подойти к его установке по азимуту и широте. Фотографический материал, который окажется в распоряжении учителя после создания и эксплуатации такого астрографа, по своему качеству приближается к снимкам звездных полей, получаемых на настоящих астрографах.

Заключение

Ценность школьных астрофотографических наблюдений состоит в том, что они позволяют привлекать внимание школьников к проведению большого числа практических работ под звездным небом на стандартном оборудовании /за очень редким исключением/ школьного кабинета физики и астрономии.

Важность таких наблюдений состоит также в том, что с их помощью можно получить хороший иллюстративный материал для изучения многих вопросов школьного курса, материал, дидактическая действенность которого будет несравненно выше иллюстраций школьного учебника — ведь этот материал учащиеся получили сами!

Астрофотография малоформатными камерами окажется полезной учащимся еще и потому, что они приобретут навыки работы с астрономическим и фотографическим оборудованием, с обработкой астронегативов.

И, наконец, астрофотография в средней школе может стать большим направлением многолетних работ астрономического кружка, тем более, что возможности совершенствования качества получаемых снимков, приборов и методики астрофотографических наблюдений даже в условиях сельской средней школы очень велики.

Автор обращается ко всем любителям и учителям астрономии с просьбой делиться всеми замечаниями по предлагаемому пособию, трудностями и результатами своей работы в

этом направлении, приглашает обращаться за советами по организации такой работы, за помощью в приобретении материалов и химикатов. Адрес: 610002, г. Киров, ул. Ленина, 111, Пединститут, каб. астрономии, Ковязину Е. И.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Вокулер Ж., Тексеро Ж. Фотографирование небесных тел. М: Наука, 1967.

2. Вокулер Ж. Астрономическая фотография. М: Наука, 1975.

3. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. М: Наука. 1971.

4. Яхно Г. С., Чуркин Г. С. Об использовании репродукционных колец для фотографирования небесных светил. «Физика в школе», 1966, № 5.

5. Крылов А. Н. Портативный астрограф без гида. «Земля и Вселенная», 1973, № 4.

6. Корякина Е. А. Фотографирование неба малоформатными камерами. «Физика в школе», 1968, № 4.

7. Лупой А. К. Фотографирование небесных тел с помощью школьных телескопов. «Физика в школе», 1973, № 3.

8. Докучаева О. Д. Фотография в астрономии. «Земля и Вселенная», 1969, № 1.

9. Докучаева О. Д. Страницы истории астрономической фотографии. «Земля и Вселенная», 1966, № 1.

10. Алесенко Н. В. Азимутальная установка и фотоприставка для трубы «Турист», «Земля и Вселенная», 1978, № 5.

11. Воронцов-Вельяминов Б. А. Новый тип общедоступного портативного астрографа без часового механизма и ведущей трубы. Астрономический календарь на 1950 г.

12. Бугославская Н. Я., Бронштэн В. А. Инструкция к проведению солнечных затмений. Астрономический календарь на 1952 г.

13. Новиков И. Д., Ржаницина О. Б. Самодельный астрограф для фотографирования звездного неба. Астрономический календарь на 1958 г.

14. Гришин Ю. А. Как мы наблюдаем Солнце. «Земля и Вселенная», 1980, № 5.

15. Самодельный астрограф. Приложение к журналу «Юный техник», 1977, № 12.

16. Любимов Ю. К. Фотографируем Луну в школьный телескоп. «Земля и Вселенная», 1975, № 1.

17. Коваль В. И. «Служба неба» во дворце пионеров. «Земля и Вселенная», 1975, № 4.

18. Любимов Ю. К. Стереофотографии Луны. «Земля и Вселенная», 1974, № 1.

19. Павленков В. И., Яхно Г. С. Гидирующее устройство для астрографа. «Земля и Вселенная», 1979, № 5.

20. Коваль В. И. Приборы службы неба. «Земля и Вселенная», 1979, № 1.

21. Мурашов Д. А. Простейшие фотографические наблюдения в астрономии. «Физика в школе», 1977, № 5.

22. Порошин Ф. М., Головина Л. А., Ковязин Е. И. Астрофотодокументы, их получение и использование на уроках астрономии в средней школе. — В кн. «Сборник работ по физике и методике преподавания физики». Омск, 1971 г.

23. Бекяшев Р. Х. Самодельный астрограф. «Земля и Вселенная», 1980, № 4.

24. Фесенко Б. И. Определение координат пункта методом фотографирования звезд. «Физика в школе», 1976, № 5.

25. Муратов С. В. Небесная фотография. Ленинград, Научное книгоиздательство, 1930.

26. Бойко А. Д. Фотографирование Солнца комбинированной оптикой. «Земля и Вселенная», 1970, № 5.

27. Гришин Ю. А. Самодельный фотогеиограф. «Земля и Вселенная», 1971, № 4.

28. Коваль В. И. Фотографируем затмение. «Земля и Вселенная», 1976, № 3.

29. Жуховицкий С. Ю. Портативный астрограф. «Земля и Вселенная», 1976, № 2.

30. Сикорук Л. Л. Определение выдержки в астрофотографии. «Земля и Вселенная», 1980, № 1.

31. Кирсанов В. Чудеса в фотографии еще бывают. «Наука и жизнь», 1978, № 9.

32. Палей А. Б. Всесоюзная фотографическая служба неба. Инструкция по звездной астрофотографии. Иваново, 1966.

33. Судаков Н. И. Астрофотография в средней школе. — В кн. «Астрономический календарь», 1918 г.

34. Ковязин Е. И., Шиляев В. И. Простейший школьный астрограф. — В кн. «Физический эксперимент в школе», М: Просвещение, 1981.

35. Шевченко В. В. Луна и ее наблюдение. М: Наука, 1983.

36. Сикорук Л. Л. Телескопы для любителей астрономии. М: Наука, 1982.

37. Александров С. Б. Фотографирование небесных объектов. «Земля и Вселенная», 1983, № 5.

38. Грашин Ю. А. Астрограф с автоматическим гидрованием. «Земля и Вселенная», 1984, № 3.

39. Юферов А. О. Фотографируем небесные объекты. «Земля и Вселенная», 1984, № 6.

40. Солнечное затмение 31 июля 1981 г. и его наблюдение. Сборник статей под редакцией А. А. Михайлова. М: Наука, 1980.

41. Бронштэн. Серебристые облака и их наблюдение. М: Наука, 1984.

42. Ковязин Е. И. Особенности использования малоформатных фотоаппаратов во внеклассной работе учителя астрономии. «Физика в школе» № 5, 1985.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

§ 1. Малоформатные фотоаппараты в роли астрографов 4

§ 2. Негидируемые фотоаппараты 10

а) фотографирование суточных путей звезд 10

б) фотографирование суточных путей Солнца 19

в) фотографирование звезд 29

§ 3. Гидируемые фотоаппараты 34

§ 4. Фотографические наблюдения во время солнечных и лунных затмений 51

§ 5. Выбор, обработка и хранение негативов малоформатной астрофотографии 62

§ 6. Программа занятий и список практических работ 69

§ 7. Некоторые направления развития школьной астрофотографии . 72

Заключение 75

Библиография 76

Ковязин Евгений Иванович

Астрофотографические наблюдения во внеклассной работе учителя астрономии.

Учебное пособие КГПИ им. В. И. Ленина, 1985. — с. 80.

Редактор Хронилова О. С.

Подписано к печати 10.06.85.
Бумага писчая белая. Формат $60 \times 84^{1}/_{16}$.
П. л. 4,0. Усл. п. л. 5,0. Уч.-изд. л. 3,9.
Заказ 4188. Тираж 500. Цена 1 рубль.

Редакционно-издательский совет Кировского государственного педагогического института имени В. И. Ленина — г. Киров, ул. Ленина, 111.

Областная типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли — г. Киров, Динамовский проезд, 4.